

하수관거 통수능 검토를 통한 관거 개선방안 연구

Sewerage rehabilitation strategy based on sewer capacity evaluation

류재나¹ · 오재일^{1*} · 오석호²

Jaena Ryu¹ · Jeill Oh^{1*} · Sukho Oh²

1 중앙대학교 건설환경공학과, 2 (주)삼안

(2008년 12월 30일 접수 ; 2009년 1월 30일 수정; 2009년 2월 2일 채택)

Abstract

Sewers are important national infrastructure and play an essential part by handling both wastewater and stormwater to minimise problems caused to human life and the environment. However, they can cause urban flooding when rainfall exceeds the system capacity. Sewer flooding is an unwelcome and increasingly frequent problem in many urban areas, and its frequency will increase over time with urbanisation and climate change. Under current standards, sewers are designed to drain stormwater generated by up to 10 year return period storms, but data suggests that many in practice have been experienced flooding with exceeding system capacity under increased storm events. A large number of studies has considered upgrading or increasing the design standard but there are still lack of information to propose a suitable return period with the corresponding system quantity to achieve. A methodology is required to suggest a proper level of standard within a suitable sewerage rehabilitation planning that can avoid the exceedance problem. This study aimed to develop a methodology to support effective sewer rehabilitation that could prevent urban flooding mainly resulted from the exceedance of existing storm sewer system capacity. Selected sewerage rehabilitation methods were examined under different storm return periods and compared to achieve the best value for money.

Key words: urban flooding, cost analysis, sewer capacity, sewerage rehabilitation, return period

주제어: 내수침수, 비용분석, 통수능, 하수관거 개선, 확률년수

1. 서론

다양한 관점의 하수관거 시스템 문제점을 지적할 수 있지만 크게 하수관거의 구조적, 기능적, 환경적 측면 등으로 구별 가능하다. 이 중에서 구조적 시설 측면의 문제점은 주로 하수관거의 갱년변화로 인한 내구성 저하를 의미하며, 기능적 측면은 하수관거의 통수능 부족에 의한 방재적 차원의

침수피해를 들 수 있다(서울시, 2007b). 한편, 기설치된 하수(우수)관거의 통수능 부족 문제는 기존의 설계 확률년수가 최근의 집중강우 발생빈도를 적절히 반영하지 못하는 데 그 이유를 들 수 있으며, 이의 개선을 위해서 용량부족 관거의 관경확대 및 부대시설의 개량계획과 우수침투시설 및 저류시설 도입을 통한 침수대응능력 확보를 각 지자체의 하수도정비기본계획에서 중요하게 추진하고 있는 추세이다(서

* Corresponding author Tel:+82-33-250-6241, Fax:+82-33-244-6239, E-mail:hyukjae68@hotmail.com(Kwon, H.J.)

울시, 2008).

국립방재연구소가 2003년 12월 전국 상습수해지역의 피해발생현황을 분석한 결과에 의하면 내수침수가 원인으로 지목된 곳이 전체 상습수해지역 719개소 중 73.4%인 524개소에 해당하는 것으로 나타났으며, 이러한 내수침수의 피해는 저지대, 하수관거, 배수배제시설(펌프장 등), 외수유입 등 다양한 원인에 의해서 발생하며, 지형적인 저지대 문제, 배수능력부족, 하천의 수위상승으로 인한 배수불량, 하수역류 노면 배수, 하수관거의 용량부족 등의 순서로 빈번하게 발생한 것으로 조사되었다(심재현, 2006). 한편, 하수관거의 배수용량 부족은 전체 내수침수의 원인의 11%를 차지하고 있으며, 도시화로 인한 불투수 면적의 증가 및 기후변화로 인한 확률강우량의 증가추이를 고려한 침수피해의 증가 가능성을 고려한다면 점차로 그 중요성이 증대되고 있으므로 효율적인 개선방안이 요구되고 있는 실정이다(심우배, 2008).

일반적으로 자연상태의 강우의 표면유출률은 통상적으로 15~20%의 비율이지만, 도시의 발전에 따른 불투수면적의 증가로 인한 유출율은 약 90%까지 증가할 수 있다(Martin et al., 2001). 기후변화는 도시의 강우강도, 유출량 및 홍수량의 증가를 가져올 것이며 이는 관거의 용량부족으로 인한 내수침수의 증가를 야기시킨다(Digman and Shaffer, 2004; Spillet et al., 2004). 영국 수자원협회(UKWIR)의 기후변화의 연구결과를 이용한 하수관거시스템에 미치는 연구결과에 따르면, 2080년도의 예상되는 기후변화의 영향은 40% 강우강도의 증가에 의한 100% 증가된 홍수량과 200%증가된 홍수로 인한 피해를 들 수 있다(Digman and Shaffer, 2004). 따라서 기 매설된 하수관거의 과부하 검토를 통한 도시의 홍수피해 예측은 매우 중요한 평가 단계라 할 수 있다(Evans et al., 2004). 최근 국내에서 수행한 “기상이변을 대비한 수방시설 능력 향상 타당성 조사(서울시, 2007a)”에 의하면 최근 강우자료까지 반영하여 적용된 서울시 치수과의 강우강도식을 검토해 보면 기존 하수도 정비 기본계획에서 적용한 강우강도식(98수해백서) 보다 약 3~4% 높은 수치를 보여주어 기후변화에 의한 강우강도의 증가는 이미 가시화되고 있다(서울시, 2008). 2001년 서울시 수해백서의 침수지역 배수계통 평가에서는, 2001년 7월 발생했던 강우에 대하여 홍수량을 산정하여 주요 관거의 통수능을 평가하였으며, 2001년 7월 15일 발생했던 2시간 최대강우에 의한 유출량과 12개 배수구역에서 발행하였던 홍수량의 비교를 통해, 서울시 간선 관거의 설계 기준인 10년 빈도 설계홍수량을 모두 초과하였음을 확인하였다(서울시, 2002).

하지만 하수관거의 계획 확률년수의 상향은 관거의 개량에 따르는 소요비용의 경제성과 치수의 효과로 기대되어지

는 안전성을 동시에 고려하여야하는 사항이며, 대상지역의 다양한 여건에 크게 영향을 받는다. 개정된 하수도시설기준에서는 계획홍수량의 확률년수를 5~10년으로 하되, 각 지역의 집중호우 및 침수피해 상황 등의 여건을 반영하여 경제 적이며 방재적인 측면을 고려하여 확률년수를 취하도록 제안하고 있고, 환경부의 하수도정비 기본계획 수립지침에 나타난 우수관거계획의 기준 또한 하수도 시설기준과 동일하게 적용하고 하천홍수의 영향을 받는 지역, 저지대 등 침수 우려가 있는 지역은 별도 상향조정을 하도록 언급만 하고 있어 기존 관거의 용량부족해소를 위한 구체적인 적용방안이 마련되어있지 않은 실정이다(환경부, 2005, 2007). 최근 일부 지자체의 하수도정비 기본계획에 의하면 확률년수 상향시의 통수능 부족 관거의 비율을 검토하고 확률년수를 상향(간선 30년/지선 10년)시켰을 경우 통수능 부족관거의 증가율이 전체 관거연장 대비 그다지 크지 않음을 제시하고 이를 바탕으로 홍수에 대한 안전성 및 경제성 확보를 위해 관거의 설계에 필요한 확률년수를 상향함을 제안하였다(서울시, 2008).

본 연구는 우수관거의 통수능 검토를 통하여 선택적 하수관거 개선의 방안에 대해 연구하였다. 우수관거의 설계기준으로 사용되어질 수 있는 몇 개의 계획확률년수를 선택하여 기존의 하수관거의 용량을 검토하였으며, 부족이 예상되는 통수능을 해소하는데 요구되는 관거의 개선 방법에 대한 공사비를 산출하여 비용분석을 실시하였다. 선택된 계획확률년수별로 행해진 비용분석을 통하여 내수침수에 대응할 수 있는 우수관거의 통수능 개선을 위한 관거의 성능 개선의 적절성에 대해 판단 가능한 방법을 제시하고자 하였다.

2. 연구방법

본 연구에서 제안하는 우수관거 통수능 검토를 통한 접근 방법론적 절차의 모식도는 Fig. 1과 같으며, 먼저 ①대상지역의 특성을 파악하여, ②시험하고자 하는 확률년수의 강우강도를 산정하며, ③계획홍수량 산정을 통해 배수분구의 침투유출량과 관거의 허용유량을 비교하여 기존관거의 통수능을 검토한다. 다음은 ④통수능 해소를 위해 적절한 공사방법을 선택하고, 마지막으로 ⑤공사비의 비용분석을 통해 선정된 공사방법을 적용한 관거 개선의 적절성을 판단할 수 있다. 아래는 앞에서 언급한 개별 단계에 대한 보다 자세한 설명이다.

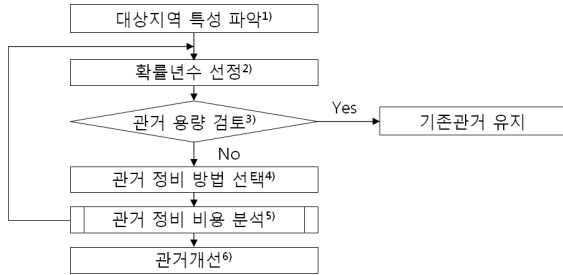


Fig. 1. 기존 우수관거 용량검토를 통한 하수관거 성능 개선의 모식도

- 1) 대상지역 특성 파악: 대상배수분구의 관거현황, 배수분구 특성, 강우사상 파악
- 2) 확률년수 선정: 지역의 중요도, 배수구역 면적등을 고려하여 확률년수를 채택
- 3) 관거 용량 검토: 계획우수량산정을 통한 배수분구의 침투 유출량과 관거의 허용유량을 비교하여 용량 검토
- 4) 관거 정비 방법 선택: 통수능해소를 위한 관거 개선 방법의 선택
- 5) 관거 정비 비용 분석: 적용되는 공사 방법의 소요 공사비를 통수능 부족량과 비교하여 비용의 경제성을 검토
- 6) 관거개선: 선택된 계획 확률년수에 대한 관거 정비 방법 적용을 통한 관거 개선

2.1 대상지역 특성 파악

기존 하수관거시설의 용량검토를 위해서는 대상 배수분구의 특성, 관거의 정보 및 강우사상의 특성 등의 자료가 필요하다. 하수관거시설의 현황조사를 통하여 관거의 관경, 연장 및 매설심도 등을 파악해야하며, 대상지역 면적 및 토지이용현황을 포함한 배수분구특성을 조사하여, 배수분구의 유출계수를 결정하여야한다. 유출계수는 대상지역의 기후, 지세, 지질, 지표상황, 강우강도, 강우지속시간, 배수시설 및 주거형태 등의 영향을 받으며 이에 따라 현저하게 변화하나, 국내 하수도 분야는 일반적으로 하수도시설기준의 토지이용별 기초 유출계수 표준값 및 토지이용별 총괄 유출계수 표준값을 따른다. 유달시간은 해당유역내의 가장 먼 지점으로부터 주유로를 따라 유역출구지점까지 도달하는데 소요되는 시간으로, 유입시간과 유하시간의 합으로 나타내어진다. 유입시간의 산정에는 Kerby공식, 미국 연방항공청 공식, SCS 평균유속방법 등이 사용되어지며, 도시 우수관거를 통한 유하시간은 관로시스템 상류지점에서 하류지점까지의 경로를 다양한 관로 직경별 구간으로 나누고, 이 구간거리를 평균유속으로 나누어 얻는 구간별 유하시간을 합산하여 구한다(윤용남, 2007).

2.2 확률년수 선정

어떠한 확률년수를 채택하여야 하는지는 배수구역의 크기 및 중요도에 따라 달라지게 되며, 경제적인 면과 방제적인 면이 서로 상반되는 관계를 가지고 있다. 확률년수를 너무 높게 책정하면 관거 시스템으로 야기되는 침수에 대한 안전성은 커지게 되나 시설투자비가 많이 소요되고, 반대로 너무 낮게 책정하면 초기투자비용은 적게 소요되나 빈번한 침수피해를 야기할 수 있으므로 적정 확률년수의 채택은 매우 중요하다. 확률년수는 시설의 중요도, 도시화 등의 수문학적 요소, 사회·경제적인 요소들에 따라 다양하게 변할 수 있으므로 일률적으로 결정할 수 없으며, 비용-편익 분석 및 경험과 판단에 의해 적절한 선에서 결정되어져왔다. 기존 하수관거 통수능 검토를 통한 하수관거 성능의 개선 시 다양한 시나리오의 계획확률년수를 적용하여 적당한 수준의 미래 지향적인 확률년수를 검토선정할 수 있으며, 이를 바탕으로 관거 개선 방안을 모색할 수 있다. 이를 위해서는 먼저 검토하고자 하는 확률년수를 선정하여야 하며, 이후 각 지역(배수분구)의 확률년수에 해당하는 확률강우강도를 계산해야한다. 확률강우강도는 강우깊이, 지속시간 및 빈도의 관계를 나타내는 IDF 곡선을 이용하거나, 여러 가지 경험식들을 사용하여 구할 수 있다. 국내에 사용가능한 강우강도식은 건설교통부의 한국확률강우량도 작성 연구의 확률강우강도식(건설교통부, 2000), Talbot, Sherman, Japanese 형의 경험식이 있다. 각 지방자치단체별로는 각 지역의 강우 특성에 맞추어 적당한 형의 경험식을 도입하여 사용하고 있다.

2.3 관거 용량 검토

도시의 호우로 인한 유출량을 통제하기 위해 기존 배수시스템을 평가하거나 새로운 배수시스템의 설계를 위해서는 계획우수량의 산정이 필요하다. 우수관거의 설계시 가장 많이 사용되는 유출모형은 1800년대에 만들어진 합리식(Rational method, 아래 식(1) 참조)이며, 최대 침투유출을 발생시키는 도달시간과 지속시간이 같다는 가정하의 설계 강우강도를 적용하여 침투유출량(Q_{peak})을 산정한다. 여기서 Q_{peak} 는 유출량(m^3/sec), I 는 강우강도(mm/hr), C 는 유출계수, A 는 유역면적(ha)을 나타낸다. 강우강도는 강우의 도달시간을 지속시간으로 하여, 고려되어지는 확률년수에 대해 산정하게 되며, 유출계수는 유역의 상태에 따라 결정한다. 합리식 이외에 경험식 또는 SCS 합성법등의 방법으로도 계획우수량의 산정이 가능하다.

$$Q_{peak} = 0.2778CIA \quad (1)$$

산정된 유출량의 배수능력을 검토하기 위한 관거의 허용

유량(Q_{full})은 관내의 흐름이 등류라는 가정 하에 Manning, Kutter 등의 공식을 이용한 평균유속을 계산한 후 연속방정식을 이용하여 계산할 수 있다(식 (2), (3) 참조). Q_{full} 은 관거의 허용유량(m^3/sec), A 는 관의 단면적(m^2)을 의미하며, Manning의 유속공식의 v 는 평균유속(m/sec), n 은 조도계수, R 은 관의 경심(m), I 는 동수구배를 의미한다.

$$Q_{full} = A \cdot v \quad (2)$$

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \quad (3)$$

검토에 사용된 설계강우빈도에 대하여 계산된 침투유출량(Q_{peak})과 허용유량(Q_{full})의 비교를 통해 통수능부족량(Q)을 계산하여 기존 관거의 용량 검토가 가능하며, 이를 통해 관거의 개량에 필요한 관경 등의 계산 또한 가능하다. 선택된 계획확률년수의 통수능 비교 결과 관거의 용량이 충분하여 침투유출량의 유입에 문제가 발생되지 않는다고 판단($Q_{peak} < Q_{full}$)될 시, 기존 매설된 관거를 유지하고 정비를 시행하지 않음을 판단할 수 있으며, 용량부족이 판단($Q_{peak} > Q_{full}$)될 시에는 추가적인 관거정비 방법을 선택하고 비용분석을 통해 관거 개선의 적절성을 판단한다. 전체적인 관거용량 검토의 모식도는 Fig. 2와 같다.

2.4 관거정비 방법 선정

관의 통수능 부족량 검토를 통해, 기존의 관거가 충분한

용량을 가지고 있을 경우, 관거정비가 필요하지 않으나, 용량부족이 판단되어질 때는 적절한 방법을 선택하여 공사를 시행해야한다. 관거의 정비방법은 관거의 결합 종류가 구조적 결합인지 또는 수리적 결합인지에 따라 여러 가지 방법을 선택할 수 있다(한국상하수도협회, 2006). 관거의 통수능력 개선을 위해 일반적으로 적용하는 방법은 굴착교체(replacement) 방법, 병행보강(reinforcement) 방법 또는 관내유입유량을 줄이는 방법(flow reduction)이 있다(WRc, 2001). 본 연구에서는 통수용량 부족 관거의 성능 개선 방안으로 ①기존의 하수관거 대신 통수능 부족량을 해소할 수 있는 충분한 용량을 지니는 새로운 확대 관경 관로를 부설하는 굴착교체방법과, ②기존의 관거를 유지한 채, 통수능 부족 용량만큼의 새 관로를 병행 부설하여 통수능 부족에 대응하는 병행보강 방법을 중점으로 검토하고자 하였다.

관거의 부설비는 지역의 여건 및 적용공법 등에 따라 달라지나, 일반적인 기준을 적용하여 산정할 수 있다. 관로시공비의 산정에 요구되는 일반적인 항목은 토공, 맨홀공, 관로공, 포장공, 부대공 외 제경비와 부가세로 구성되어진다. 토공의 항목은 자연터파기를 실시할 경우와 가시설을 설치하여 공사할 경우 각각에 대해 포장방법에 따라 비포장, 아스팔트 포장, 콘크리트 포장으로 세분되어 나누어 질 수 있다. 다음 Fig. 3은 자연터파기와 가시설 설치 시 콘크리트 포장구간의 단면도 및 토공 항목의 산출식을 나타낸 것이다. 터파기의 저면폭(B1)은 관경(D)과 관주변의 터파기 여유폭

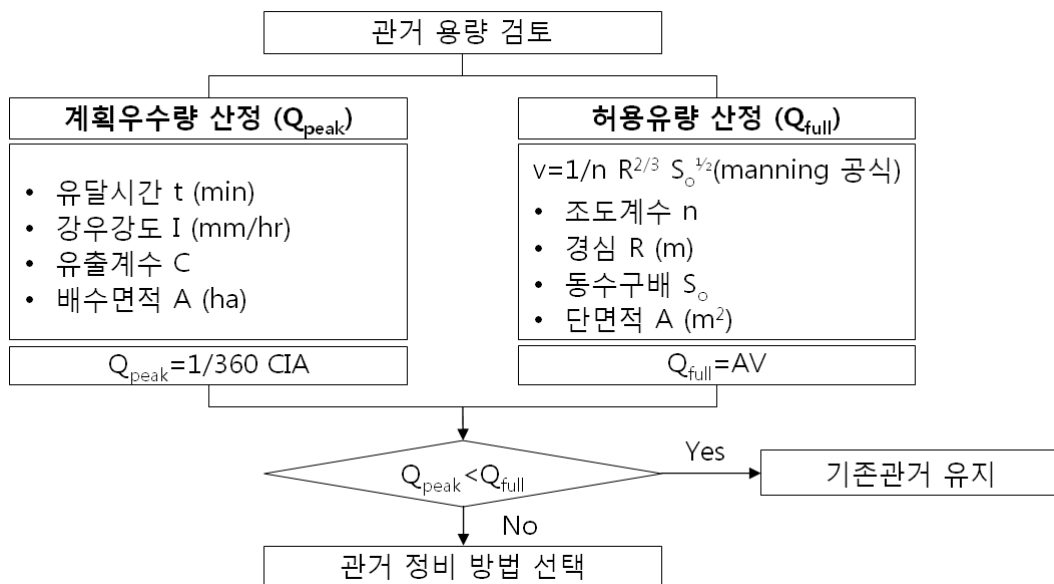
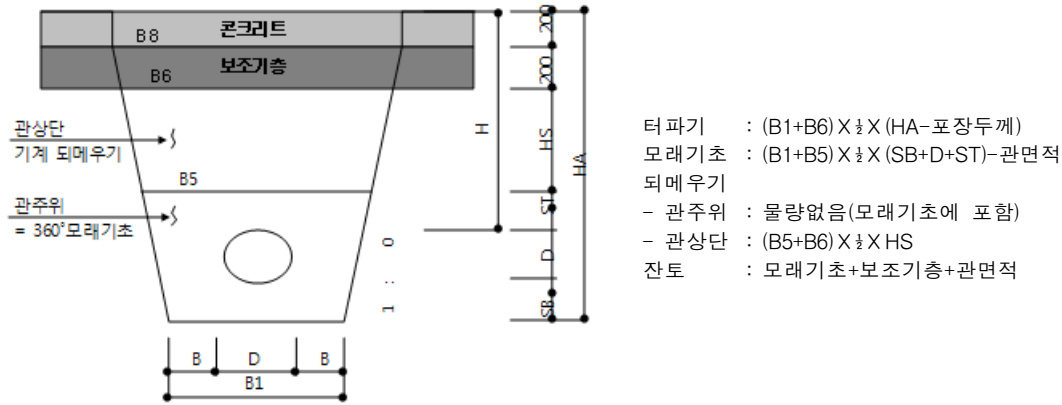
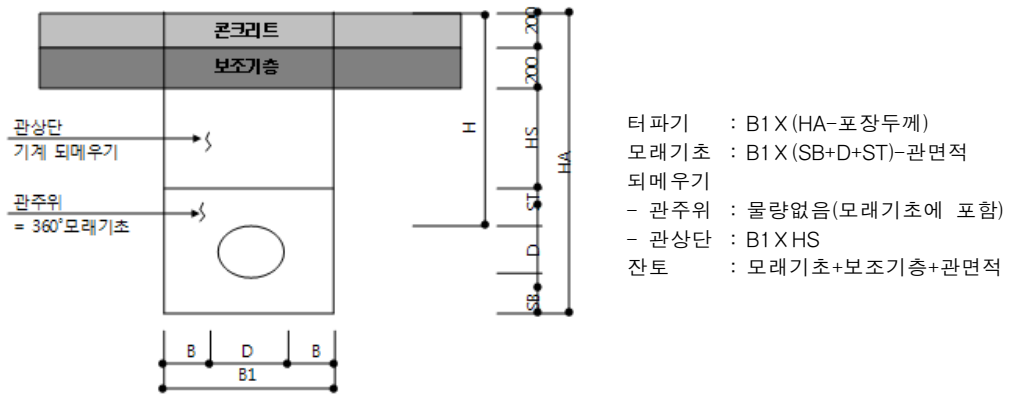


Fig. 2. 관거용량 검토의 모식도



- 터파기 : $(B1+B6) \times \frac{1}{2} \times (HA - \text{포장두께})$
- 모래기초 : $(B1+B5) \times \frac{1}{2} \times (SB+D+ST) - \text{관면적}$
- 되메우기
- 관주위 : 물량없음(모래기초에 포함)
- 관상단 : $(B5+B6) \times \frac{1}{2} \times HS$
- 잔토 : 모래기초+보조기층+관면적

자연터파기 콘크리트구간



- 터파기 : $B1 \times (HA - \text{포장두께})$
- 모래기초 : $B1 \times (SB+D+ST) - \text{관면적}$
- 되메우기
- 관주위 : 물량없음(모래기초에 포함)
- 관상단 : $B1 \times HS$
- 잔토 : 모래기초+보조기층+관면적

가시설 콘크리트구간

Fig. 3. 콘크리트 포장의 단면도 및 산출식

(B)에 의해 결정되며, 터파기 심도(HA)는 관경과 관저면부의 기초모래(SB)와 관주위(ST) 및 관상단(HS)의 되메움 모래두께에 의해 결정되어진다. 비포장일 경우 관상단의 되메움 깊이까지 각각 포장방법에 해당하는 표층, 기층 등의 높이가 고려되어진다. 맨홀공의 항목은 자재비를 포함한 맨홀 설치비용이며, 관로공의 항목은 관종별 자재비를 포함한 관 또는 BOX의 접합 및 부설비, 하수관 수밀시험비용 및 하수관내 CCTV 조사비용을 포함한다. 포장공의 항목은 아스팔트 및 콘크리트 포장 각각에 대하여 자재비, 각 층의 포설 및 다짐, 코팅비용을 포함하며, 부대공의 내역은 안전 보호책 설치 및 철거, 경고테이프 설치 등의 부대비용을 의미한다. 각각의 항목에 해당하는 비용을 적용조건에 따라 산정하여 공사비를 결정할 수 있으며, 이를 통해 관거의 유형(원형관 또는 암거)의 규격에 따라 관거 연장의 미터 단위 당 관거의 개략 공사비를 산출할 수 있다.

2.5 선택된 관거 정비 비용 분석

시험하고자 하는 확률년수(x, year)에 대한 하수관거의

용량검토를 통해 산정된 통수능 부족량(Q_x , m^3/s)과 통수능 부족해소를 위해 소요되는 공사비(C_x , 원)의 비를 계산하면, 해당 확률년수에 대한 통수능 부족량당 소요공사비(Q/C_x , 원/ m^3/s)를 산정할 수 있다. 선택된 계획확률년수에 대한 대상지역의 관거의 통수능 부족량은 Fig. 4과 같이 표현될 수 있으며, 소요되는 공사비는 Fig. 5와 같이 나타낼 수 있다.

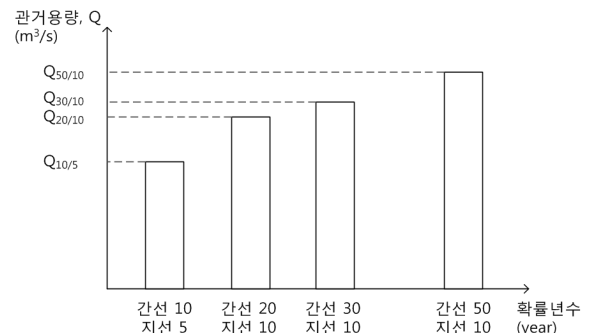


Fig. 4. 관거 용량

산정된 공사비를 Fig. 6과 같이 통수능 부족량당 소요공사비로 나타낼 수 있으며, 이를 통하여 적용된 확률년수의 관거 정비방법에 대해 그 적절성을 검토함이 가능하다.

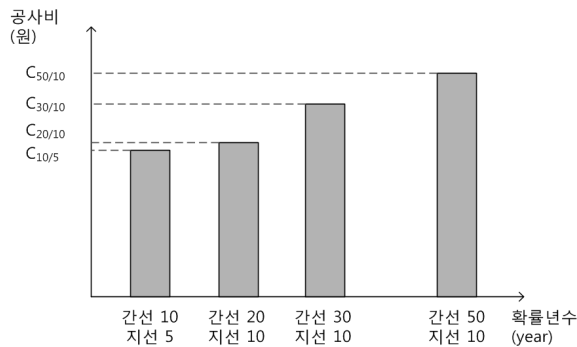


Fig. 5. 관거 정비 방법의 공사비

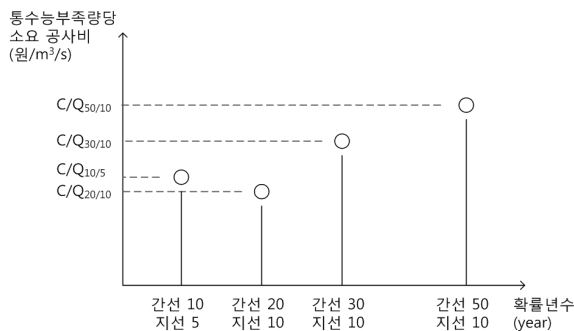


Fig. 6. 통수능 부족량당 소요 공사비

예를 들어 대상지역의 계획확률년수를 간선 10년/지선 5년으로 선택한 후 관거 용량검토를 통해 통수능 부족량을 산정하면, Fig. 4의 $Q_{10/5}$ 에 해당하는 값을 얻어낼 것이다. $Q_{10/5}$ 의 값이 산정되지 않는다면 대상지역은 해당 확률년수에 대한 통수능 부족량이 없으므로 판단되어지며, 기존의 설계기준인 간선 10년/지선 5년의 확률년수의 적용이 적정하다고 판단되어져 관거정비를 시행하지 않아도 됨을 알 수 있다. 만약, 대상지역의 계획확률년수를 간선 20년/지선 10년으로 선택한 후 관거 용량검토를 통해 통수능 부족량을 산정하면, Fig. 4의 $Q_{20/10}$ 에 해당하는 값을 얻어낼 것이다. $Q_{20/10}$ 의 값이 산정되면, 용량부족 해소를 위한 관거정비를 시행해야함을 의미하며, 특정 관거 정비의 방법을 적용하였을 때 소요되는 공사비는 Fig. 5의 $C_{20/10}$ 으로 표현 될 수 있다. 요구되는 공사비의 다른 확률년수를 적용 하였을 경우와의 비교를 위해 통수능 부족량 Q에 대해 정량화하면, 대상

배수분구의 통수능 부족량당 소요 공사비($C/Q_{20/10}$, 원/ m^3/s)를 구할 수 있다(Fig. 6 참조). 선택된 계획확률년수 별로 소요 공사비의 검토를 통해 각각의 확률년수에 대하여 비교가 가능하며, 이를 통해 통수능 부족 해소를 위한 소요 공사비가 가장 적게 요구되는 확률년수의 공법을 선택하여 하수관거 용량개선을 위한 정비를 시행함이 가능하다. Fig. 6에서 보여지는 것과 같이, 네 가지의 계획확률년수에 대해 통수능부족량과 관거 개선에 소요되는 비용의 검토를 하였을 경우, $C/Q_{20/10}$ (원/ m^3/s)의 값이 가장 적어 대상 배수분구에 대해 계획확률년수 간선 20년/지선 10년을 적용하여 관거 정비를 시행함이 경제적임을 판단 할 수 있다. 또한 2.4 절에 제시된 바와 같이 대상지역의 관거 개선에 대해 여러 가지 정비방법이 고려될 경우(예를 들어, 굴착교체 또는 병행보강의 방법이 고려될 경우), 계획확률년수별로 선택된 정비방법들 각각에 대한 비용 분석을 통해 소요 비용의 최소화를 가져오는 적정 공사 방법을 제안할 수 있다.

3. 사례연구

3.1 대상지역

앞 절에서 제시한 접근방법론의 논리적 검증은 위하여 서울시-탄천처리-성내배수구역의 암사, 상일2, 하일 배수분구를 선택하여 기존 관거의 통수능 타당성 검토를 수행하였다. 선택된 이들 배수분구의 일반현황은 Table 1과 같다.

3.2 통수능 부족량 검토

Fig. 2에 나타난 계획우수량과 허용유량의 검토를 위하여 식 (1)과 식 (2)을 이용하여 다음과 같은 4가지 확률년수 시나리오에 대하여 검토하였다. 즉, 확률년수는 간선과 지선으로 구분하여 각각 ①간선 10년/지선 5년, ②간선 20년/지선 10년, ③간선 30년/지선 10년 및 ④간선 50년/지선 10년을 검토하였으며, 간선 관거와 지선 관거의 구분은 편의상 관의 직경이 800mm 이상인 경우 간선, 미만인 경우 지선 관거로 나타내었다.

Q_{peak} 의 검토를 위한 각 배수분구의 강우강도식은 간선 관거와 지선 관거에 대해 각각 식 (3)과 식 (4)를 적용하였으며 이 식들은 현재 수립중인 “서울시 하수도정비 기본계획 변경(안)(서울시, 2008)”에서 사용되어진 강우강도 식으로, 2007년 서울시의 “기상이변을 대비한 수방시설능력 향상 타당성조사”의 내용 중 과거 46개년(1961-2006년)의 강우자료를 활용하여 산정된 식이다(서울시, 2007a). 유입시간은 간선 관거 5분, 지선 관거 10분을 적용하였으며, 유입시간은 각 관거의 실유속을 관거의 연장으로 나누어 계산하였으며, 계산된 연장대비 유속값은 방류구의

Table 1. 대상지역의 일반현황

구분	암사	상일2	하일
행정구역	강동구 암사 1,2,3동, 고덕 1동 일원	강동구 강일동 일원	강동구 강일동, 고덕 2동 일원
배수분구 면적(ha)1)	306.91	201.94	243.94
시가화(ha)	61.98	19.97	4.61
녹지(ha)	141.21	181.97	142.71
개발가능지(ha)	103.72	0.00	96.62
인구(인)	18,050	418	97
유출계수	0.65	0.64	0.64
시설연장(m)	19,476	10,964	2,665
배제방식	부분분류식	합류식	합류식
보급률(%)	100	100	100

1) 1ha=104 m²

Table 2. 계획확률년수별 통수능 부족량(Q, m³/s)

배수분구	Q10/5	Q20/10	Q30/10	Q50/10
암사	3.52	3.16	3.52	3.52
상일2	23.12	35.38	42.87	42.87
하일	0.95	1.39	1.30	1.30

위치를 고려하여 연결 관거에 대해 능가하여 적용되었다. 유출계수는 평균값으로 적용하였으며, 그 값들은 Table 1에 나타난 바와 같이 사례연구에 사용된 세 곳의 배수분구 모두 시가화 및 녹지 비율이 높은 것을 고려하여, 암사 배수분구는 0.65, 상일2와 하일배수분구는 0.64를 적용하였다.

$$I_T = \frac{1,259.4}{\sqrt{t} + 3.0380} - 22.5 \quad (3)$$

$$I_T = \frac{925.16}{\sqrt{t} + 2.4580} - 13.5 \quad (4)$$

한편, Q_{min}의 검토를 위한 평균유속의 계산은 Manning의 공식을 사용하였으며, 유속계산에 필요한 조도계수는 0.0013을 적용하였으며, 동수구배는 각 관거의 인버트 값 사이의 경사를 계산하여 적용하였다. 본 연구에서는 궁극적으로 대상배수분구 기존 우수관거의 용량 검토를 용이하게 수행할 수 있는 수단으로 엔지니어링 실무에서 자주 사용되고 있는 Makesw를 사용하여 검토하였다(합리식을 통한 침투유출량 계산과 평균유속공식을 연속방정식에 적용한 허용유량을 용이하게 계산할 수 있는 설계 및 관거용량 검토 프로그램). 결론적으로 각 배수분구의 네 가지 확률년수 시나리오에 대해 산정된 통수능 부족량은 Table 2과 같이 정리될 수 있었다.

3.3 관거 개선의 소요 공사비 검토

본 연구에서는 하나의 대상지역에 대해 동일한 관거정비 방법의 적용을 가정하였다. 예를 들어, 암사배수분구의 산정된 통수능 부족량에 대응하기 위해서는 기시공된 관거 시설물과 주변의 현장여건을 고려하여 다양한 개선 방법을 선택해야하지만, 본 연구에서는 동일배수분구내의 모든 통수능 부족관거 개선의 방법으로 100% 굴착교체(replacement) 또는 병행보강(reinforcement)의 방법을 통해 정비를 시행한다고 가정하여 공사비를 산출하였다.

개략 공사비 산정에서는 앞 절에서 제시된 관로시공비의 산정항목에서 타당한 제한조건을 주어 개략공사비를 산정하였다. 먼저 토공의 항목의 산정을 위해 토피는 원형관 2m, 암거는 0.7m로 동일하게 적용하였으며, 맨홀은 조립식 PC 맨홀을 적용한다고 가정하였다. 관로공 항목의 공사비계산을 위해 원형관은 흙관, 암거는 조립식 PC암거를 택하였으며, 관경이 1,350mm이상인 관거는 설계유량을 충분히 유하시킬 수 있도록 암거로 적용하였다. 포장상태를 고려하여 관경별로 비포장, 아스팔트포장, 콘크리트포장에 따른 각각의 자연터파기와 가시설 설치로 구분하여 공사비를 산출하였으며, 그 평균값을 적용하였다. 제경비는 토공, 맨홀공, 관로공, 포장공 및 부대공의 산출내역의 50%를 적용하였으며, 부가세는 제경비를 포함한 모든 항목의 10%를 적용하였다.

Table 3. 계획확률년수별 관거 정비 방법의 소요 공사비(원)

굴착교체				
배수분구	C _{10/5}	C _{20/10}	C _{30/10}	C _{50/10}
암사	5.77 × 10 ⁸	6.89 × 10 ⁸	7.38 × 10 ⁸	7.38 × 10 ⁸
상일2	6.17 × 10 ⁹	6.83 × 10 ⁹	6.71 × 10 ⁹	6.92 × 10 ⁹
하일	2.60 × 10 ⁸	2.53 × 10 ⁸	2.53 × 10 ⁸	2.53 × 10 ⁸
병행보강				
배수분구	C _{10/5}	C _{20/10}	C _{30/10}	C _{50/10}
암사	2.54 × 10 ⁸	2.75 × 10 ⁸	3.32 × 10 ⁸	3.32 × 10 ⁸
상일2	1.50 × 10 ⁹	2.22 × 10 ⁹	2.67 × 10 ⁹	2.67 × 10 ⁹
하일	1.66 × 10 ⁸	2.04 × 10 ⁸	2.05 × 10 ⁸	2.05 × 10 ⁸

Table 4. 계획확률년수별 통수능 부족량당 소요 공사비(원/m³/s)

굴착교체				
배수분구	C _{10/5}	C _{20/10}	C _{30/10}	C _{50/10}
암사	1.64 × 10⁸	2.18 × 10 ⁸	2.10 × 10 ⁸	2.10 × 10 ⁸
상일2	2.67 × 10 ⁸	1.93 × 10 ⁸	1.57 × 10⁸	1.61 × 10 ⁸
하일	2.74 × 10 ⁸	1.82 × 10⁸	1.94 × 10 ⁸	1.94 × 10 ⁸
병행보강				
배수분구	C _{10/5}	C _{20/10}	C _{30/10}	C _{50/10}
암사	7.21 × 10⁷	8.71 × 10 ⁷	9.42 × 10 ⁷	9.42 × 10 ⁷
상일2	6.52 × 10 ⁷	6.27 × 10 ⁷	6.22 × 10⁷	6.22 × 10⁷
하일	1.75 × 10 ⁸	1.47 × 10⁸	1.57 × 10 ⁸	1.57 × 10 ⁸

각각에 사용된 단가는 환경부 소관 예산 작성을 위한 공사비를 사용하였으며, 단가 및 노임, 자재, 기계경비는 2008년 1월 가격을 기준으로 산출하였다. 관거의 굴착교체와 병행보강 방법을 적용할 때, 각 확률년수당 통수능 부족 해소에 소요되는 관거정비 공사비의 산정 결과는 Table 3와 같이 정리할 수 있다.

3.4 통수능 부족량당 소요 공사비 검토

3.2절과 3.3절에서 검토된 통수능 부족량과 개선을 위한 소요공사비를 각 확률년수에 대해 통수능 부족량당 소요공사비로 정규화(normalization)하여 최종적으로 산출된 결과는 Table 4과 같이 정리하여 나타낼 수 있다.

Table 4에서 도출된 내용을 살펴보면, 암사배수분구, 상일2배수분구, 하일배수분구에서 각각 계획확률년수 간선 10년/지선 5년, 간선 30년/지선 10년 및 간선 20년/지선 10년에 대해 병행보강의 방법을 통한 관거 정비를 고려함이 가장 경제적으로 판단되어진다. 하지만 이미 언급되었듯이, 본 예시에 활용된 관거정비 방법은 굴착교체와 병행보강의 두 가지만을 모든 통수능 부족관거 부분에 일률적으로 적용하여 도출한 결과임을 주지하는 바이다. 일반적으로 실제

배수분구내의 통수능 부족관거 부분의 정비는 여러 가지 방법의 다양한 조합을 통해 수행되어질 것이다. 즉, 실제 현장 조사를 통해 정비의 필요성 및 가능성을 파악해야하고 제안된 정비 방법의 타당성을 면밀히 검토한 후에 시행함이 바람직하다. 예를들어, 상일2배수분구의 관거 정비에 통수능 부족량당 소요공사비 인자(index) 관점에서 가장 적절하다고 판단되어진 내역은 확률년수 간선 30년/지선 10년의 병행보강방법을 통한 관거 개선이지만, 현장여건 조사결과 관거 주변의 지장물 등이 존재하여 병행관로부설이 마땅치 않다고 판단될 경우, 다른 관거 정비 방법을 선택해야 할 것이다. 이 경우 각 확률년수의 관거 개선에 소요되는 통수능 부족량당 소요공사비가 가장 적게 소요된다고 판단되어지는 확률년수는 다르게 판정선택되어질 것이다. 그럼에도 불구하고 본 연구에서 제안한 확률년수에 따른 통수능 부족 관거의 개선 비용-분석(cost analysis) 방식은 유용한 논리적 수단을 제시하고 있다.

한편 본 연구에서는 공사비의 산정의 단순화를 위해 관거 정비를 굴착교체 또는 병행보강의 단독 방법만을 사용하였으나, 침수의 해소를 위해서는 우수유출 저감시설 등의 설치를 고려할 수 있다(소방방재청, 2008). 우수침수에 대비한

확률년수의 상향조정은 하수도시설(하수관거, 침투시설, 저류시설 및 펌프시설 등) 전체에 대한 것이므로 하수관거에서 이 모든 것을 전적으로 부담할 필요는 없으며, 기존 하수관거 매설지역의 경우 하수관거의 통수능을 증대시켜 확률년수 상향시키기에는 많은 비용이 소요될 수 있기 때문에 저류시설 및 침투시설을 고려하여 하수도시설의 침수대응 능력은 상향시키는 방법을 적용함이 가능하다(서울시, 2008). 따라서 기존 관거의 용량부족에 대응하는 방안으로 상기에 제시된 우수유출저감시설 등의 비용검토를 통하여 보다 경제성 있는 개선 방안을 선택할 수 있다.

4. 결론

우수관거의 통수능 부족에 의한 내수침수의 발생을 저감시키기 위한 관거정비 방안을 모색함에 있어서 가장 적절하게 사용되어질 수 있는 방법은 기존의 축적된 침수피해 자료를 이용하여 배수위 해석을 통한 침수 피해와 침수의 발생빈도 분석을 통한 접근 방법이다. 즉, 적절한 비용(cost)과 편익(benefit)을 산정하는 경제성 평가 방식으로 관거 개선의 적절성을 제공함이 타당하다. 하지만, 일반적으로 모든 분석대상지역의 침수사례의 분석을 통한 침수피해의 산정 및 침수해소를 통한 편익의 산정은 현 단계에서는 거의 불가능하며, 국내실정에 적합하지 않음이 주지의 사실이다. 이러한 실정을 반영하여 본 연구에서는 우수관거의 통수능 검토와 연계된 비용분석만을 통한 선택적 하수관거 개선의 방안에 대해 제시하였다. 첫째, 우수관거의 설계기준으로 사용되어질 수 있는 몇 개의 계획확률년수를 선택하여 기존의 하수관거의 용량 검토를 통해 부족이 예상되는 통수능을 해소하는데 요구되는 관거의 개선 방법별 공사비를 산출하여 비용분석을 실시함으로써 관거 개선의 적절성을 검토할 수 있는 접근방법론을 제안하였으며, 둘째, 정규화된 인자인 통수능 부족량당 소요 공사비(원/m³/s)를 산출하여 정량적인 판단 근거를 확보하는 기준을 제시 하였다. 이러한 단위 통수능 부족량당의 비용 원단위 산정은 각 배수분구에 요구되는 정비비용이 상호 비교될 수 있으므로, 여러 배수분구의 정비사업이 동시에 수행될 경우 사업우선순위의 선정 및 주어진 예산의 배분에도 활용이 가능할 것으로 기대되어진다. 하지만 그럼에도 불구하고 편익에 대한 추가적인 연구는 궁극적으로 요구된다 할 수 있다.

사 사

이 논문은 2007학년도 중앙대학교 학술연구비 지원에 의한 것임.

참고문헌

1. 건설교통부 (2000) 한국확률강우량도 작성, **1999년도 수자원관리기법 연구조사보고서, 제1권 및 별책부록**. pp. 94~97.
2. 서울시, 한국수자원학회 (2002) **2001 수해백서**. pp. 3-3~3-64.
3. 서울시 (2007a) **기상이변을 대비한 수방시설능력 향상 타당성 조사**. pp. 5~8.
4. 서울시 (2007b) **하수관거 종합정비사업의 효과분석**. pp. 36.
5. 서울시 (2008) **서울시특별시 하수도정비기본계획(변경) 보고서(안)**. pp. 5-76~5-88.
6. 소방방재청 (2008) **우수유출 저감시설의 종류·구조·설치 및 유지관리 기준**. pp. 3.
7. 심우배 (2008) 우리나라 도시침수피해 특성과 대응과제, **물과미래**, 41(9). pp. 41~46.
8. 심재현, 김영복(2006) 전국상습수해지구 현황과 대책, **방재연구지**, 8(1). pp. 79~94.
9. 윤용남 (2007) **수문학**, 청문각. pp. 383~400.
10. 한국상하수도협회 (2006) **하수도공사 시공관리요령**. pp. 229~233.
11. 환경부 (2005) **하수도시설기준**. pp. 27~42.
12. 환경부 (2007) **하수도정비 기본계획 수립지침**. pp. 30.
13. Digman, C.J. and Shaffer, P.J. (2004) **A Flow of Good Ideas— Designing for Exceedance**, WaPUG Autumn Conference, Blackpool. pp. 1~7.
14. Evans, E., Ashley, A., Hall, J., Penning-Rowsell, E., Saul, A., Sayer, P., Thorne, C., and Watkinson, A. (2004) **Foresight. Future Flooding. Scientific Summary: Volume 1— Future risks and their drivers**. Office of Science and Technology, London. pp. 62~80.
15. Martin, P., Turner, B., Dell, J., Payne, J., Elliott, C. and Reed, B. (2001) **Sustainable Urban Drainage Systems— Best Practice Manual**. CIRIA Report C523, CIRIA, London. pp. 11.
16. Spillet, P., Wilkinson, B., Kellagher, R. and Balmforth, D. (2004) **Effects of Climate Change on Sewer System Performance**, WaPUG Spring Conference, Coventry. pp. 1~8.
17. WRc (2001) **Sewerage Rehabilitation Manual**, Fourth Edition, WRc plc, UK. pp. 8/1~8/17.