

— 기술정보 —

서울대학교 대학원 기숙사 빗물이용시설의 개요와 경제성 평가

— Technical Report —

Outline and Economical Valuation of Rainwater Utilization Facility in SNU Dormitory

한무영* · 김영완

Han, Moo-young · Kim, Young-wan

서울대학교 지구환경시스템공학부

1. 서 론

2004년 3월 제주에서 열린 지구환경장관 회의의 결과인 "제주선언문"에는 처음으로 빗물모으기 (Rainwater Harvesting)와 같은 가격이 싸고, 효율이 좋은 기술들을 개발하고 전파하여야 한다는 결론이 내려졌다.

2003년 11월에 준공된 서울대학교 기숙사에서는 국내에서 가장 먼저 빗물이용시설을 만들어 화장실과 조경에 사용하는 시스템을 선택하여 가동에 들어갔다. 설계당시에는 중수도를 계획하여 화장실 용수로 공급하고자 하였으나 세계적인 추세에 발을 맞추어 빗물이용시설을 도입하는 과정에서 시공중에 설계를 변경하여 건물 4동 중 2동은 빗물을 이용하고, 나머지 2동은 중수를 이용하는 것으로 하였다.

본 논문에서는 서울대학교기숙사를 예로 들어 빗물이용시스템의 건설비와 운전비용을 고려한 경제성 분석, 그리고 운전시에 예상되는 문제점들에 대하여 정리하고자 한다. 또한 빗물이용과 같은 물절약 정책을 시행할 때 도움을 줄 수 있는 자료를 제공하고자 한다.

2. 빗물이용시스템의 개요

서울대학교 기숙사 빗물이용시스템은 상수사용량의 절감, 홍수방지, 비상시의 수원확보, 교육 및 연구에 목적이 있으며 실제 주거지역에서 처음으로 빗물을 화장실 용수로 이용된다는 점, 중수와 계곡수까지 연계되어 있다는 점, 신·증축되는 빗물이용시설의 설치에 좋은 예가 될 수 있어 의의가 깊다.

각 동의 수용가능 인원과 수세변기수는 다음의 Table 2와 같다.

2.2 서울대학교 대학원 기숙사 빗물이용시설

빗물이용시설은 세 개 건물의 지붕과 관악산 계곡에서 집수되는 집수시설, 운반시설, 처리시설, 저류시설, 펌프시설, 모니터링시설과 수세변기로 구성되어 있다. 각 시설에 대한 개요는 Table 3과 같다.

3. 경제성 분석 방법

경제성 타당성을 평가하는 분석기법으로는 편익/비용비율 (Benefit/Cost Ratio, B/C), 내부수익률

*Corresponding author Tel: +82-2-880-8915, FAX: +82-2-885-7376, E-mail: myhan@snu.ac.kr (Han, M.Y.)

Table 1. 공사 개요

구분	대학원 기숙사	구분	대학원 기숙사
대지면적	11,468m ² (3,469평)	세대수	6인실 167세대(A, B동 97, C, D동 70)
건축면적	4,021m ² (1,216평)	구조	철근콘크리트벽식구조(200m ²)
연면적	18,541m ² (5,609평)	공사기간	장기1차: 2001. 8. 21~2002. 9. 30
층수	B1~9F / PH2		장기2차: 2002. 10. 5~2003. 12

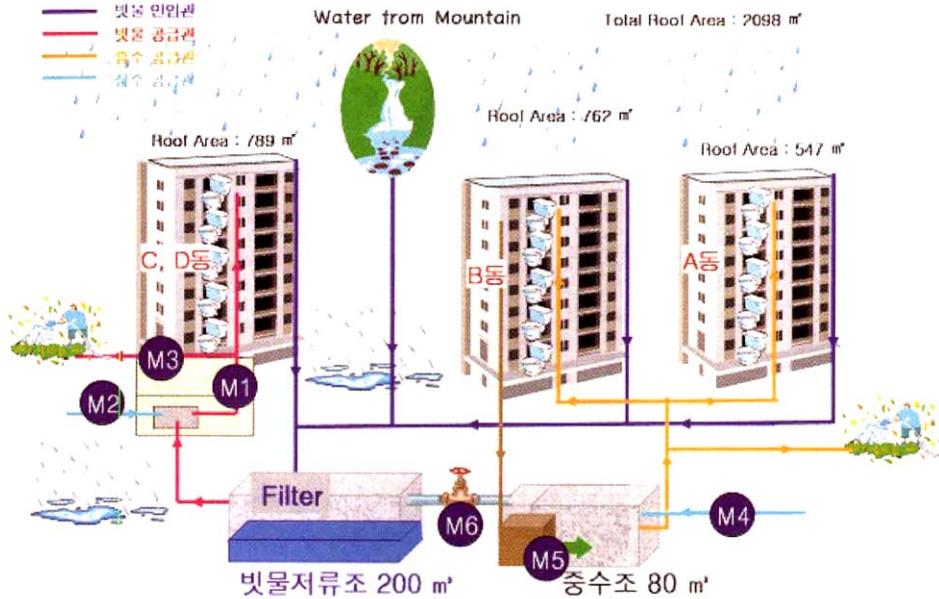


Fig. 1. 서울대학교 기숙사 빗물이용시설의 개요도.

Table 2. 서울대 대학원 기숙사 수용인원 및 수세번기수

	세대	수용가능인원	인원	수세번기수(6ℓ 용량)
919A(남)	42	252	245	42(중수)
919B(여)	55	330	320	55(중수)
919C(남)	36	216	213	36(빗물)
919D(남)	34	204	200	34(빗물)
계	167	1002	978	167

(Internal Rate of Return, IRR), 순현재가치(Net Present Value, NPV) 등이 있다. 각 분석기법마다 장·단점을 가지고 있고, 어느 한 기법만으로 경제적 타당성을 판단하기에는 적당하지 않은 경우가 자주 있지만, 일반적으로 이해가 용이하고 사업규모의 고려가 가능한 B/C 비율 분석기법을 많이 사용한다. 따라서 본 연구에서는 편익/비용 비율을 이용하여 분석하였다.

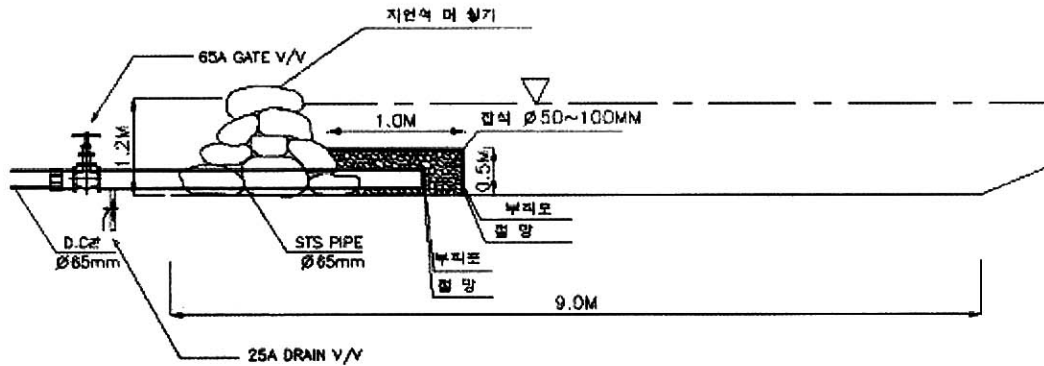
편익/비용 비율이란 개통 후 연도별로 발생하는 편익과 투입되는 비용(사업비 및 유지관리비)을 적정 할인율로 할인하여 기준년도 가격으로 환산한 금액의 비율을 말하며, 일반적으로 (편익/비용비) ≥ 1이면 경제성이 있다고 판단한다.

Table 3. 서울대학교 기숙사에 설치된 주요 빗물이용 관련 시설물

집수시설

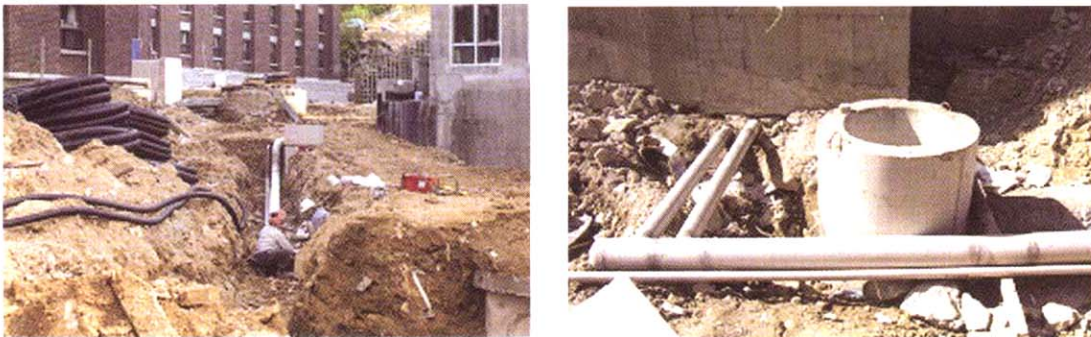


- ① A 동 : 547m²
- ② B 동 : 762m²
- ③ C, D동 : 789m²



계곡수 집수시설 종단면도

운반시설



계곡수 운반시설

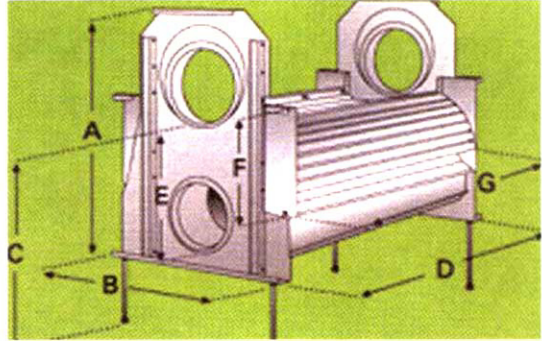
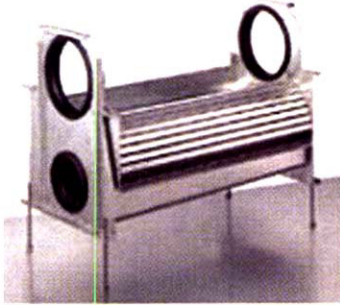
- ① 65A DC 관
- ② 65A Stainless Steel

기숙사 건물의 운반시설

- ① 100A PVC
- ② 250A Stainless Steel

Table 3. (계속)

처리시설(Voumenfilter VF6)



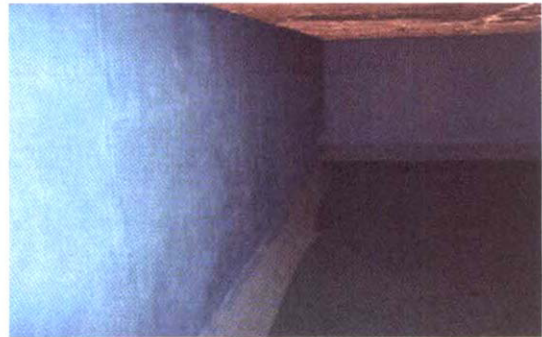
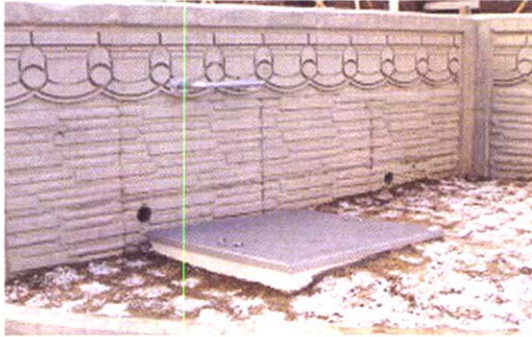
VF 6의 재원

Filter	빗물 유입관	빗물 배수관	탱크 유입관	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	G (mm)	최대 유량	최대집수면적
VF6	2 × DN250	2 × DN250	1 × DN200	670	540	575	980	325	275	880	70.5 /sec	2350m ²

VF 6의 특징

- ① 연결관 구경 : 250 mm
- ② 필터 그물망 크기 : 0.55 mm
- ③ 유입수의 90%만 필터 통과하고 나머지 10%는 배수되게 설계됨

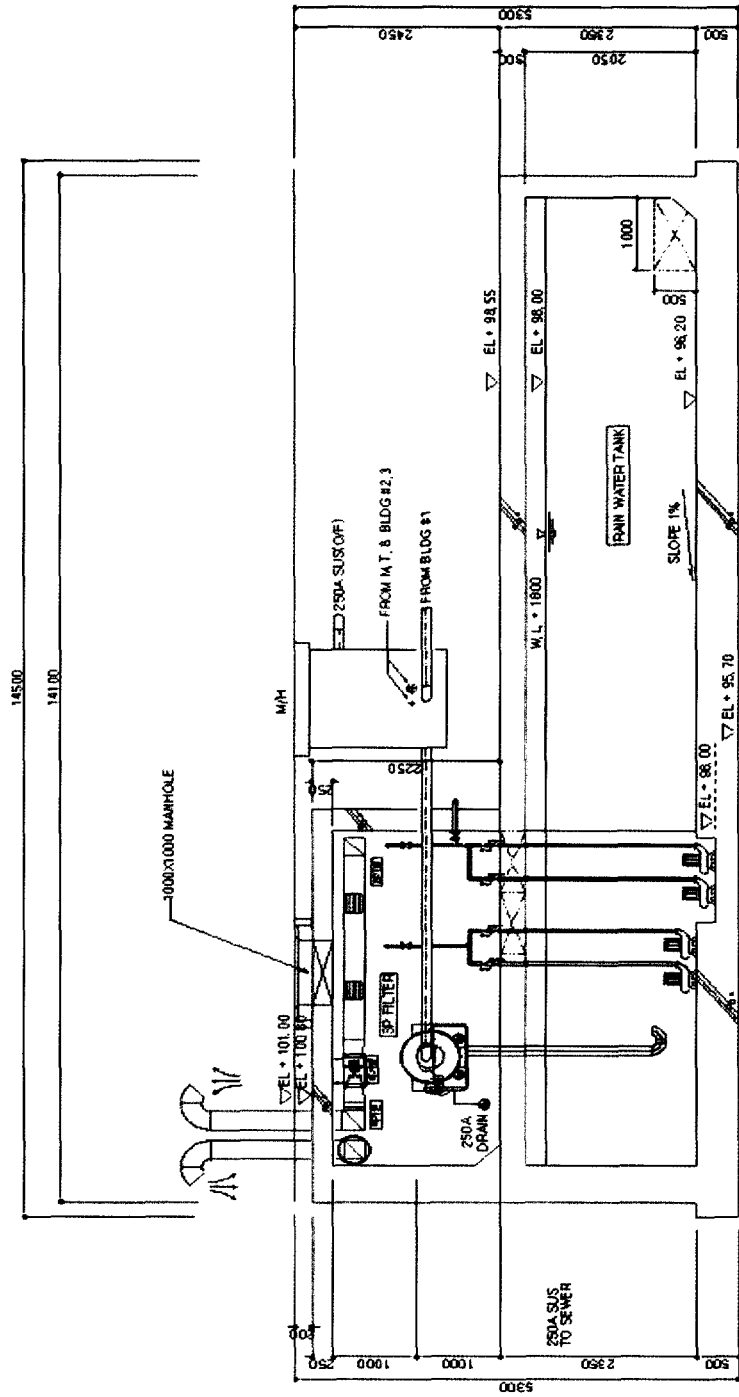
저류시설



용량 : 200m³

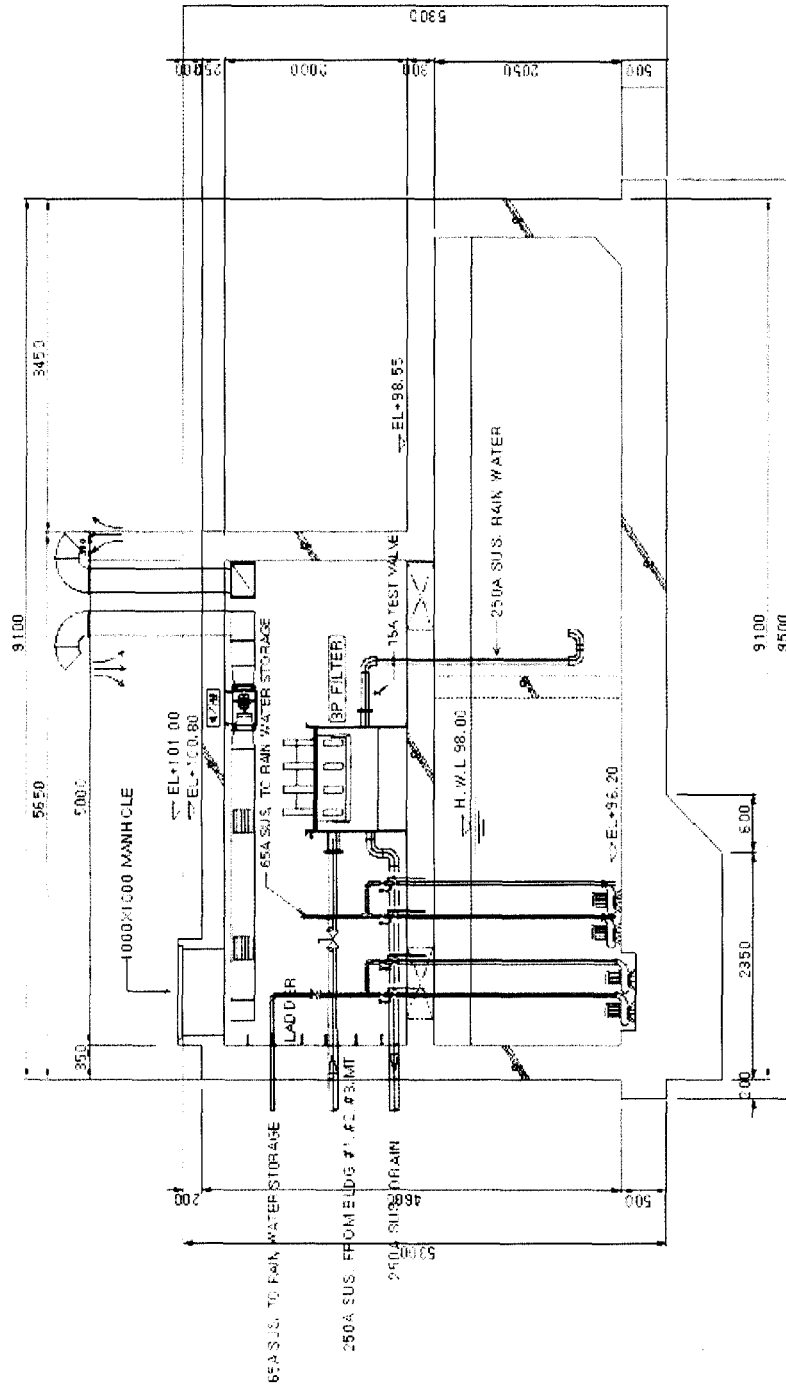
재질 : 철근콘크리트

Table 3. (계속)



빗물저장조 종단면도

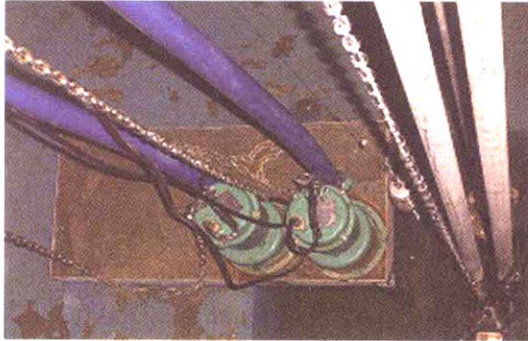
Table 3. (계속)



빗물저장조 횡단면도

Table 3. (계속)

펌프시설



빗물저장조 내 펌프 2대

형식	용량 (LPM)	양정(M)	구경		전동기출력 (kW)
			흡입	토출	
수중형	250	10	50	50	1.1



화장실 공급펌프 3대

형식	용량 (LPM)	양정(M)	구경		전동기출력 (kW)
			흡입	토출	
부스터	260	43	65	65	1.5

Cross Connection이 일어나지 않도록 하였고 빗물이 부족할 경우에는 상수를 공급하도록 함.

모니터링 시설



빗물 공급 화장실



모니터링 항목

- ① 빗물저류조 및 중수조의 low 및 high alarm 제어
- ② 상수도, 빗물, 중수에 설치된 meter 기의 유량감시(6개소).

4. 서울대 빗물이용시스템의 경제성 분석

4.1 비용 및 편익의 계산방법

빗물이용시설의 비용은 건축, 토목, 기기구입 및 설치 등의 건설비용과 전력비의 유지관리비용으로 나

눌 수 있다.

유지관리비용인 전력비는 연간빗물사용량과 펌프 용량을 고려하여 펌프사용시간을 산출하고 이에 펌프 동력과 전기요금을 곱하여 전기요금을 구한 뒤 현재 가치법으로 계산하였다.

RC저장조의 내구년수는 50년, 배관은 30년, 기계 설비는 15년 등을 고려하여 빗물이용시설 투자의 내

구년수를 35년으로 가정하고 회사채수익률(2002. 01~2004. 08 평균) 5.78%를 적용하였다.

$$PV = \sum_{k=0}^{n-1} \frac{C}{(1+r)^k} \quad (\text{식 1})$$

PV: 35년간 총운영비용의 현재가치

k: 0, 1, ..., 34

C: 연간운영비용

r: 할인율

n: 내구년수

빗물이용시설 설치로 인해 발생하는 편익을 크게 사적편익과 사회적편익으로 나눌 수 있다. 사적편익은 빗물이용시설을 설치하는 개개인의 입장에서 빗물이용시설 설치로 향유할 수 있는 편익을 말하고 사회적 편익은 국민경제적 입장에서의 편익을 말한다. 빗물이용시설의 사적편익에는 상·하수도요금절감이 있고 사회적 편익에는 상수도의 원가절감, 상수도원가에 포함되지 않은 댐건설비용과 댐주변이나 상수원 보호지역의 감소로 인한 편익, 강우시 유출량의 지체와 저감에 따른 침투유량의 저하, 즉 홍수피해 저감과 지하수 재충전에 따른 생태계 복원 및 친환경조성 등 생태계파괴 감소로 인한 편익 등이 있다. 그러나 본고에서는 사적편익인 상·하수도요금절감만을 고

Table 4. 빗물이용시설의 건설비용

항목	건설비용(천원)
건축	2,600
토목(저장조포함)	53,000
기계 장비설치	20,300
배관	93,000
전기 및 MCC	13,000
자동제어설치	26,000
합계	207,900

려하여 경제성을 분석하였다.

4.2 건설비용

각 시설의 경우 공사내역서 및 수량산출서를 토대로 건축, 토목, 기계공사비로 구분하여 시공비를 산출하였다. Table 4의 건설비용에는 간접비와 부가치세(VAT)가 제외되었다.

4.3 유지관리비용

4.3.1 연간 총 용수수요량 및 공급량 산정

화장실용수로 사용될 연간 총 용수수요량과 빗물 사용량은 6개월(3~8월) 동안 서울대 대학원 기숙사 빗물이용시설을 모니터링하면서 얻어진 결과를 이용하였다. 연간 빗물공급량은 2003년도의 강우자료와

Table 5. 연간 총 용수수요량과 공급량(단위: 톤)

일평균화장실용수사용량(모니터링결과)			연간 총 용수수요량	빗물사용량(시뮬레이션결과)
A, B동	C, D동	합계		
15.2	6.3	21.5	21.5 × 365 = 7,847.5	2,697 (연간 총 용수수요량의 34.4%)

Table 6. 빗물이용시설의 유지관리비용

전력비 산출	A, B동 공급 수중 pump	C, D동 공급 수중 pump
연간빗물사용량(톤/년)	1,757	940
용량(LPM)	100	250
동력(kW)	2.2	1.1
연간 사용시간(h/년)	$\frac{1,757 \times 10^3}{100 \times 60} = 292.8$	$\frac{940 \times 10^3}{250 \times 60} = 62.7$
전력요금(원/kWh)	81.80(교육용)	
연간전기요금(원/년)	$2.2 \times 292.8 \times 81.8 = 52,700$	$1.1 \times 62.6 \times 81.8 = 5,600$
전력요금(원)	전기요금(α) + 산업기반기금(0.04591α) + 부가가치세(0.1α)	
총연간전력비(원/년)	66,800	
35년간 현재가치법 적용 유지관리비용(원)	1,000,000	

Table 7. 서울시 상·하수도 요금(사적편익, 단위: 원/톤)

구분	상수도요금	하수도요금	물이용부담금	합계
업무용(서울대적용요금)	680	300	120	1,100
가정용	790	440	120	1,350
영업용	1,100	640	120	1,860

실제 용수수요량을 이용한 시물레이션을 통해 계산되었다.

4.3.2 빗물이용시설의 유지관리비용

(식 1)을 이용하여 현재가치법을 적용한 35년간의 유지관리비용 계산절차는 다음의 Table 6과 같다.

4.4 빗물이용시설의 편익

상·하수도 요금과 물이용부담금을 서울대 적용요금인 업무용, 가정용, 영업용 3가지로 구분하여 Table 7에 나타내었다.

4.5 빗물이용시설의 총비용

Table 4의 건설비용 207,900천원과 Table 6의 유지관리비용 1,000천원으로부터 빗물이용시설에 대한 총비용은 208,900천원이다.

4.6 Benefit/Cost ratio

총비용을 시설물의 내구년수 35년간 총 빗물사용량으로 나누어 산출된 톤당 총비용 2,213원/톤과 Table 7에서의 편익 1,100원/톤(업무용)으로부터 빗물이용시설의 B/C ratio는 0.5이다.

5. 토의

5.1 가정조건 및 제약조건

빗물이용시설은 설계당시와 다르게 되었기 때문에 공사비가 과다하게 되었을 소지가 있다. 예를 들면 위치선정시 건물외부의 지하에 별도의 암반굴착을 하고 저장조가 최적으로 위치하지 않아 관로의 길이가

길어지게 되어 불가피하게 공사비의 증가 요인이 발생하였다. 또한 연구용으로 운전이나 기초 자료를 얻기 위한 모니터링 시설이나 자동제어 설비 등에서 추가 비용이 발생하였다. 이와 같은 사실은 경제성 분석에 오차를 가져올 수 있다.

5.2 B/C ratio를 높일 수 있는 방안

5.2.1 건설비용 감소(C 감소)

본 기숙사의 경우 건물간의 거리가 상당히 떨어져 있기 때문에 하나의 저장조에 빗물을 모으기보다는 두 개의 저장조를 설치함으로써 배관비용감소를 통해 총비용을 줄일 수 있었고 설계부터 빗물이용시설이 반영되었다면 저장조가 건물에 포함되어 토목공사비용이 감소되었을 것이다. 따라서 설계부터 빗물이용시설이 계획되어 설치된다면 건설비용을 크게 줄일 수 있다.

5.2.2 편익 증가(B 증가)

2005년까지 수도요금을 생산원가에 100% 현실화 하려는 정부방침과 상하수도 사업의 누적적자 해소, 상하수도 시설개선을 위해 잇따라 수도요금이 인상되고 있고 계획 중에 있다. 1999년부터 부과된 한강 수계 물이용부담금의 경우 2년마다 한번씩 상향조정되어 왔다. 앞으로 상하수도요금 및 물이용부담금 인상, 수도요금 현실화로 인하여 사적편익은 증가할 것으로 예상된다. 또한 태풍이나 게릴라성 폭우 등 최근 잦은 기상이후로 인한 홍수피해는 빗물이용시설의 홍수저감효과로 사회적편익이 증대될 것으로 예상된다.

5.2.3 빗물사용량 증가(B 증가, C 감소)

Table 8. 빗물이용시설의 유지관리비용(단위: 천원)

비용절감 가능 항목	교육연구용건설비	주후건설비
배관공사(우수 및 세대배관포함)	93,000	69,000
전기동력 및 MCC공사	13,000	6,000
자동제어설치공사	26,000	4,000

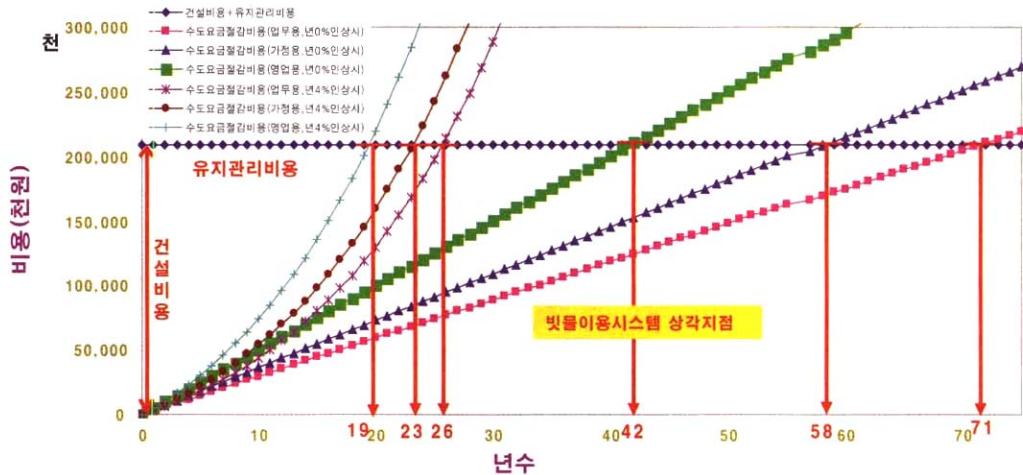


Fig. 2. 시간 경과에 따른 빗물이용시설의 총비용과 수도요금과의 관계.

큰 용량의 빗물저장조를 설치하여 많은 양의 빗물을 모으는 것도 중요하지만 사용량에 맞추어 저장조 용량을 결정할 필요가 있다. 즉, 최적의 저장조 용량 산정이 필요하다. 또한 하나의 용도로 빗물을 사용하는 것보다는 여러 목적을 두어 빗물사용량을 최대한 늘리는 것이 중요하다.

5.2.4 내구년수 증가(C 감소)

옥상에서 집수하여 모은 빗물은 오염되지 않아 다른 중수도시설과 비교하였을 경우 배관 및 기계의 사용년수가 증가할 것으로 판단된다. 또한 지속적인 유지관리와 모니터링을 통해 내구년수를 늘릴 수 있다.

5.3 회수년수

빗물이용시설로 인한 초기 건설비용, 매년 소요되는 유지관리비용, 빗물이 상수를 대체함으로써 얻어지는 수도요금절감비용과의 관계로부터 회수년수를 산정하였다. 또한 앞으로 상·하수도요금 및 물이용 부담금이 매년 4% 인상될 경우를 가정하여 Fig. 2에 나타내었다.

Fig. 2에서 빗물을 이용하여 수도요금을 줄일 수 있는 금액은 현재 수도요금이 변동없이 유지된다고 가정하면 빗물이용시설 설치 후 71년 경과 후 손익 분기점으로 나타났다. 그러나 상·하수도요금의 현실화, 물이용부담금 증대 등으로 톤당 비용이 상승하면 회수기간은 더 짧아질 것으로 예상된다. 예를 들면, 서울대학교에서 적용되는 업무용 상·하수도요금이

매년 4% 증가한다면 26년 안에 빗물이용시설 설치비용 및 유지관리비용의 회수가 가능하다.

또한 위의 빗물이용시설에 가정용 및 영업용 수도요금을 적용하였을 경우 업무용에 비해 비싸기 때문에 회수기간이 단축된 것으로 나타났다. 예를 들어 영업용 수도요금 적용시 42년, 4%의 수도요금 인상을 고려한다면 19년 안에 빗물이용시설 설치비용 및 유지관리비용이 회수될 것이다.

6. 결 론

본고에서는 서울대 기숙사 빗물이용시설 설치에 소요된 총비용을 산출하여 경제성을 분석한 결과 연구목적의 추가 공사비용 소요, 필요 이상의 배관 연장 및 안전을 확보, 부적절한 빗물저장조 위치선정 등의 문제점으로 인하여 사적 편익만으로는 경제성이 떨어지는 것으로 나타났다. 그러나 토목, 건축, 조경, 설비가 한 팀이 되어 최적으로 설계를 한다면 총비용은 크게 감소한 반면 경제성은 크게 향상될 것으로 예상된다. 또한 앞으로 상·하수도요금 및 물이용부담금 증대 등으로 사적편익이 증가하면 회수기간은 더 짧아질 것으로 예상된다. 빗물이용시설 건설비용의 절감을 위해서는 지반조건, 강우조건 등의 인자들을 고려하여 위치선정, 운전방법선정 등이 고려되어야 한다.

한편 본고에서는 고려되지 않았던 상수도의 원가

절감, 상수도원가에 포함되지 않은 댐건설비용과 댐 주변이나 상수원보호지역의 감소로 인한 편익, 홍수 피해 저감과 지하수 재충전에 따른 생태계 복원 및 친환경조성 등의 사회적편익을 고려한다면 B/C ratio 는 크게 증가할 것으로 판단된다.

여러 가지 대체 수원의 상대적인 평가를 위해서는 중수도, 해수담수화 등 동일 조건에서 B/C ratio 분석 하여 결론을 도출하고 상수도보급 정책방향에 반영하

여야 한다.

참고문헌

빗물이용시설 보급확대를 위한 정책방안 연구, 환경부, 2003.

경제통계시스템 homepage, <http://ecos.bok.or.kr>