

청계천의 하천설계



주 철 | 부사장, 공학박사, (주)한국종합엔지니어링, cjo011@empal.com

I. 서론

청계천은 서울의 서북쪽에 위치한 북한산의 남쪽기슭에서 발원하여 남남동류하여 태평로 지점에 이르러 유향을 동쪽으로 바꾸어 유하하면서 무교동, 광고, 광고시장, 동대문시장 등을 관류하여, 북쪽에서 흘러내려오는 성북천, 정릉천과 차례로 합류하면서 유하하여 중랑천의 우안측으로 유입되는 유역면적 50.96km², 유로연장 10.92km의 도시하천이다.

청계천유역은 상류부 산지를 제외하고 대부분 주거지역과 상업지역으로 이루어져 있다. 청계천은 하류부 2.36km를 제외한 전 구간이 복개되어 도로로 이용되고 있는 실정이며, 청계천의 복개는 1937년~1942년 광화문 우체국 앞에서부터 광고까지가 시초이며, 본격적인 복개공사는 1958년~1961년에 동대문 오간수교까지, 1964년~1978년까지는 신답철교까지가 순차적으로 복개되어 총 5,837m에 이르며, 삼일로에서 마장동까지는 폭 16m의 고가도로 5,864m가 건설되어 있다.

현재 하상의 경사는 태평로에서 복개종점까지는 1/353, 복개종점에서 하구까지는 1/770 정도이다. 복개의 폭은 12m~78m이고 좌안측은 광고지점부터 차집관로가 시작되며, 우안측은 삼각동 합류지점에서 차집되어 차집관로를 통해 중랑하수처리장에서 처리되고 있으며, 좌·우안으로 유입되는 토구수(300mm 이상)는 283개소에 이른다.

청계천에 분포하고 있는 지층상태는 일부구간에서 모래 및 자갈층으로 형성된 매립토층이 분포하고 그 하부에 실트섞인 세립내지 조립의 모래와 소량의 실트섞인 세립내지 조립의 모래로 구성된 퇴적토층이 전반적으로 분포되어 있다. 지하수위는 계절적 요인에 의한 변화가 심하지만 일반적으로 하천하상보다 지하수위가 낮은 것으로 나타났다. 따라서 본고에서는 하천복원계획, 차집관로시설 및 하천유지용수시설 등 하천설계 중에서 하천복원계획에 대하여 서술하고자 한다.

II. 본론

1. 강우분석 및 확률강우량

- 유역인근에 위치한 서울관측소의 연 최대치 강우 기록으로부터 통계적인 방법으로 확률강우량을 산정
- 확률분포형으로 Lognormal-2, Lognormal-3, Gamma-2, Gamma-3, Log-Pearson Type-III, GEV, Gumbel, Log-Gumbel-2, Log-Gumbel-3, Weibull-2, Weibull-3, Wakeby-4, Wakeby-5 등 13가지 분포형을 적용
- 확률분포형 모수 추정에는 모멘트법, 최우도법 및 확률가중 모멘트법 사용
- 적합도검정은 X 검정, Kolmogorov-Smirnov

표 1. 지속기간별 최대확률강우량

(단위 : mm)

관측소	재현기간(년)	지속기간(시간)												비고
		10분	1	2	3	4	5	6	8	10	12	15	18	
서울	2	17.0	47.1	69.2	83.8	92.7	100.5	109.9	121.4	129.5	136.0	142.8	149.4	159.3
	3	19.3	55.2	80.7	98.7	109.6	118.7	128.9	141.2	150.7	159.5	169.0	178.6	193.5
	5	21.9	64.3	93.6	115.2	128.4	139.0	150.1	163.2	174.3	185.6	198.1	211.1	231.6
	10	25.1	75.6	109.8	135.9	152.1	164.5	176.8	190.9	204.0	218.4	234.7	251.9	279.5
	20	28.1	86.5	125.3	155.8	174.8	189.0	202.4	217.5	232.5	249.9	269.8	291.1	325.4
	30	29.9	92.7	134.2	167.3	187.8	203.1	217.1	232.7	248.9	268.0	290.0	313.6	351.8
	50	32.1	100.6	145.3	181.6	204.1	220.7	235.5	251.8	269.3	290.6	315.3	341.8	384.9
	70	33.6	105.7	152.6	191.0	214.8	232.2	247.5	264.4	282.8	305.4	331.9	360.3	406.5
	80	34.1	107.7	155.5	194.7	219.1	236.8	252.3	269.3	288.1	311.3	338.4	367.6	415.1
	100	35.1	111.1	160.4	200.9	226.1	244.4	260.3	277.6	297.0	321.1	349.4	379.8	429.4
	200	38.1	121.6	175.3	220.2	248.1	268.0	285.0	303.3	324.5	351.5	383.3	417.7	473.8
	300	39.8	127.8	184.1	231.4	260.9	281.8	299.5	318.3	340.5	369.3	403.1	439.8	499.7
	500	42.0	135.5	195.1	245.5	277.0	299.2	317.6	337.1	360.8	391.7	428.1	467.6	532.3

표 2. 산정지점별 빈도별 홍수량

산정지점	부호	유역면적(km ²)	유로연장(km)	빈도별 홍수량(m ³ /s)						비고
				10년	50년	80년	100년	200년	500년	
청계천 하구	CG0	50.96	10.92	482	659	710	734	809	908	
정릉천 합류전	CG1	28.92	8.15	312	425	457	472	520	583	
성북천 합류전	CG2	21.29	7.25	245	337	364	376	415	466	
청계7가 우안관로 합류전	CG3	16.54	6.17	220	301	325	336	370	415	
청계6가 우안관로 합류전	CG4	15.19	5.68	207	286	308	319	351	394	
동대문 종합상가 좌안관로 합류전	CG5	12.97	5.35	178	245	265	274	302	339	
청계5가 우안관로 합류전	CG6	11.44	4.90	164	225	243	251	276	310	
청계3가 좌안관로 합류전	CG7	8.54	4.07	130	177	191	197	217	243	
삼각동 우안관로 합류전	CG8	5.61	3.48	86	118	127	131	145	162	
광교	CG9	5.39	3.18	82	113	122	126	139	156	
태평로 시점	CG10	3.09	2.74	48	65	71	73	80	90	

검정, Cramer von Mises 검정 및 PPCC 검정을 실시

- 적정확률분포형으로 Gumbel 분포형을 선정
- 지속기간별 최대 확률강우량

2. 홍수량 산정

- 강우량 자료로부터 홍수량을 산정하는 공식을 이용하여 빈도별 홍수량을 산정

- 홍수량 산정공식은 유역추적법(Area-Routing Method), 中安(Nakayasu)의 종합단위도법, ILLUDAS 모형, 합리식(Rational Formula) 및 서울지역 하천홍수량 산정공식 등의 5개방법 별로 10년, 50년, 80년, 100년, 200년, 500년 빈도 등의 6개 빈도에 대하여 홍수량을 산정
- 본 유역에서는 Clark의 유역추적법을 선정
- 총 강우량의 시간적 분포는 Huff의 2분위 법을 사용

청계천 홍수량산정 지점도

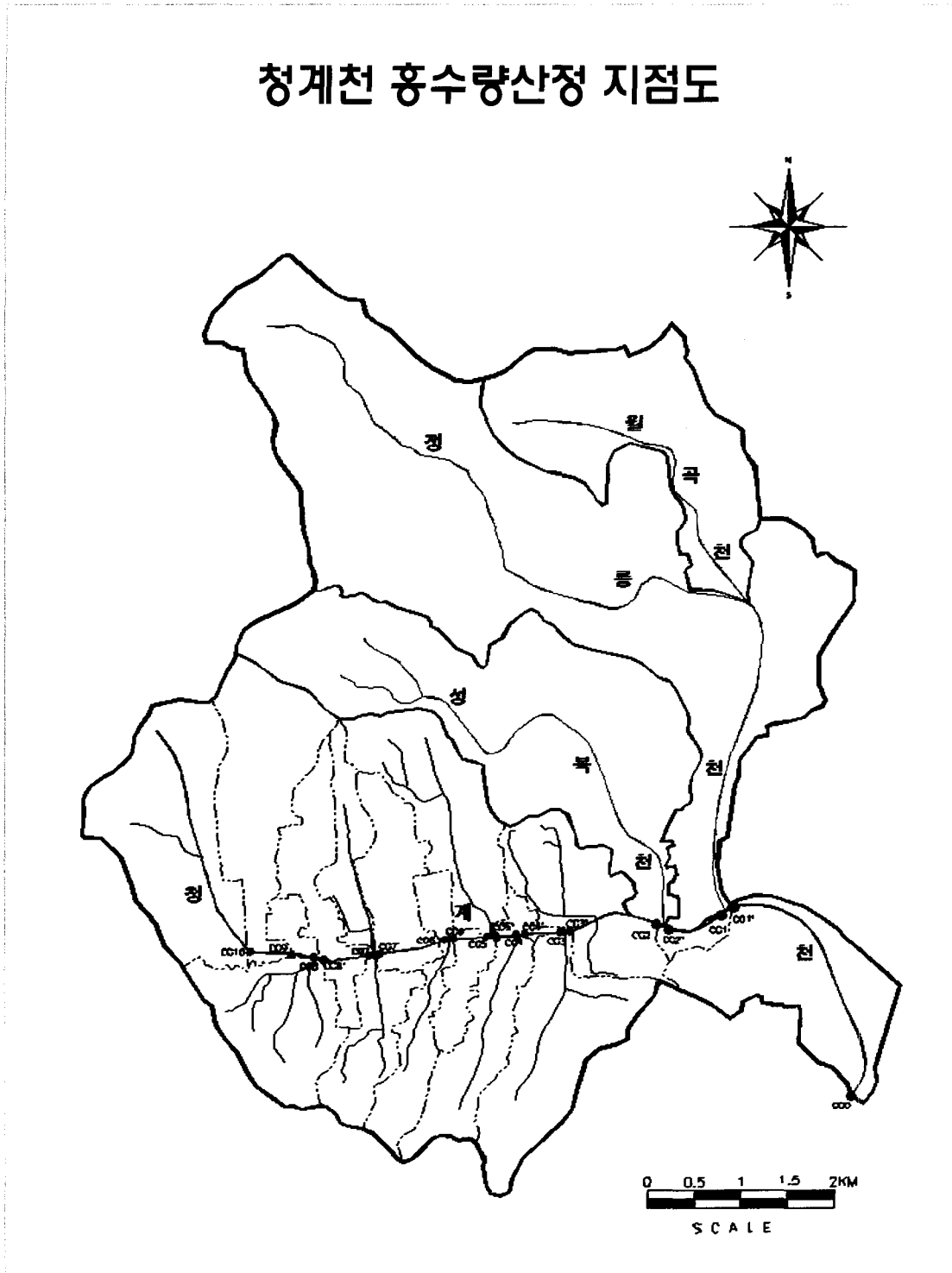


그림 1. 홍수량 산정지점도

- 빈도별 홍수량

3. 설계빈도 설정

- 서울시 관내 지방하천의 계획빈도와 형평성 등을 감안하여 계획
- 복원시설~성북천 합류점 : 설계빈도 50년 (서울시 관내 지방 2급하천 계획빈도 : 50년)
- 성북천 합류점~복원종점 : 설계빈도 80년(2002년 12월 하천심의)
- 지난 2002년 태풍 “루사”로 인한 수해를 계기로 건설교통부에서 홍수로 인한 하천 범람 등이 발생하지 않도록 하기위해 추진 중인 “시설물 설계기준강화 대책”과 근래 기상이변에 따라 발생하는 국지성 집중호우 및 도심을 관류하는 하천인 점을 고려하여 200년 빈도의 홍수량을 처리할 수 있는 통수단면 및 제방여유고가 확보되도록 하천단면 계획(과거 최대강우기록 : 118.6mm/hr(1942. 8. 5) ⇒ 200년 빈도 118.6mm/hr

4. 복원단면안 검토

일반적으로 하천의 개수시는 계획홍수량을 기준으로 홍수위를 산정한 후 단면 부족구간에 대해서 하폭을 확장하거나 축제고를 높이도록 계획하고 있으나, 청계천의 경우는 주변여건상 대부분의 구간이 하폭의 확장이나 제방고의 조정은 불가능한 실정이다. 또한 청계천 복원에 대한 각계각층의 기대치는 최상의 수준을 기대하고 있으나, 시민의 기대치에 부응하기에는 제약조건이 너무 많으므로 복원에 따른 기대치를 현실

화할 필요가 있을 것이다.

따라서 현재의 복원단면(안)은 완료가 아닌 주변개발과 연계하여 지속되는 것으로 개념을 정립하여 다음과 같은 기본방향에 따라 검토하였다.

○ 복원의 기본방향

- 치수안전을 우선하여 주변지역의 침수피해를 최소화할 수 있도록 계획
- 기존 상가의 영업활동을 위하여 항시 양안 2차선(12.0m)이상의 도로확보
- 제방의 높이는 현재의 도로고 높기로 제한(동서·남북간 도로 및 주변상가 감안)
- 적절한 법면경사 확보
- 현여건상 불가한 계획은 장래계획으로 유보

5. 복원단면안 선정

가. 안별 주요 문제점 및 보완검토

○ 1안

- 경관 불량, 하천접근 곤란
- 통수단면 부족(50년 빈도 여유고 부족구간 발생)
- 복개구조물 내부사면은 의미가 적음

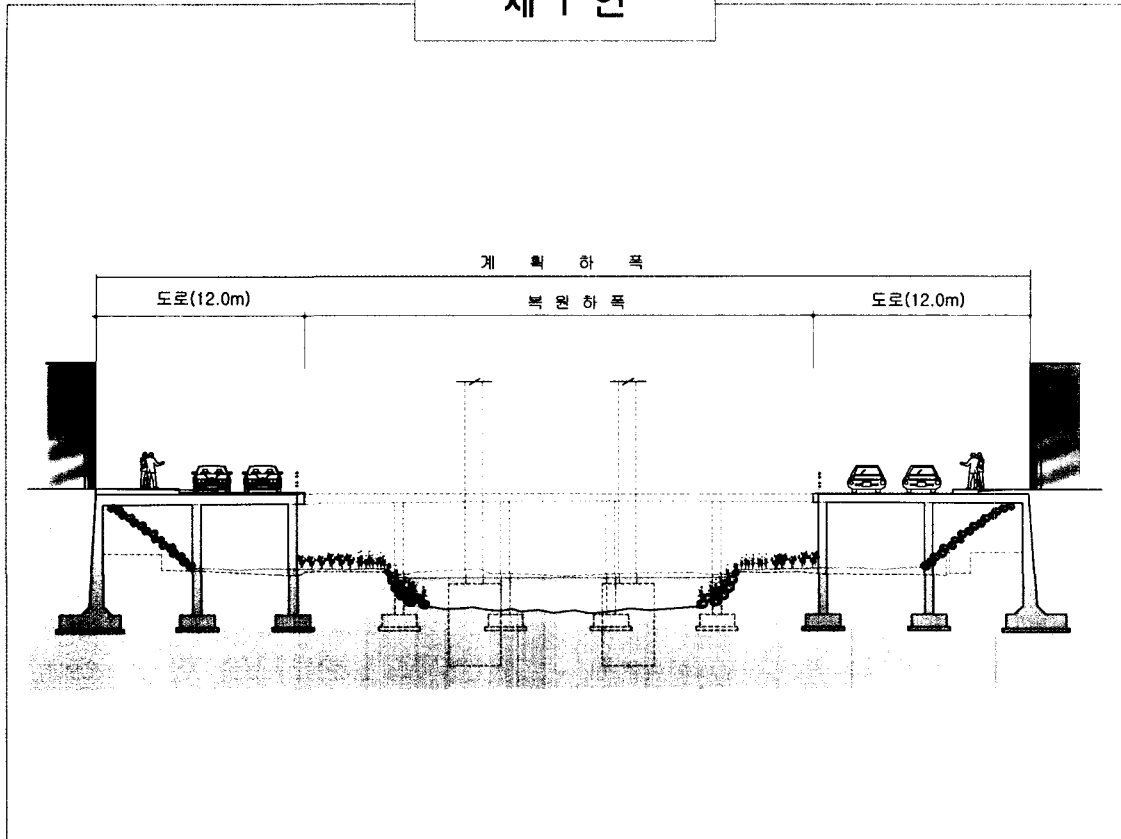
○ 2안

- 통수단면 부족(50년 빈도-여유고 부족, 100년 빈도-월류)
- 남북간 교량건설 곤란(슬라브가 홍수위에 저축됨)

표 3. 복원안 검토

안 별	방 안
제 1 안	현재의 복개폭을 하천단면으로 개수하고 도로는 기존 복개구조물을 이용하는 방안
제 2 안	양안 2차선 도로를 계획하고 나머지 폭을 하천으로 개수하되 홍수위와 도로고 사이의 여유고를 확보하기 위하여 堤防傾斜를 세우는 방안
제 3 안	양안 2차선 도로 하부를 BOX화하는 방안
제 4 안	하천복원단면 아래에 BOX를 설치하여 홍수량을 하류로 배제하여 하천 설계 계획빈도를 높이는 방안
제 5 안	터널을 통하여 홍수량을 하류나 한강으로 배제하여 하천설계 계획빈도를 높이는 방안

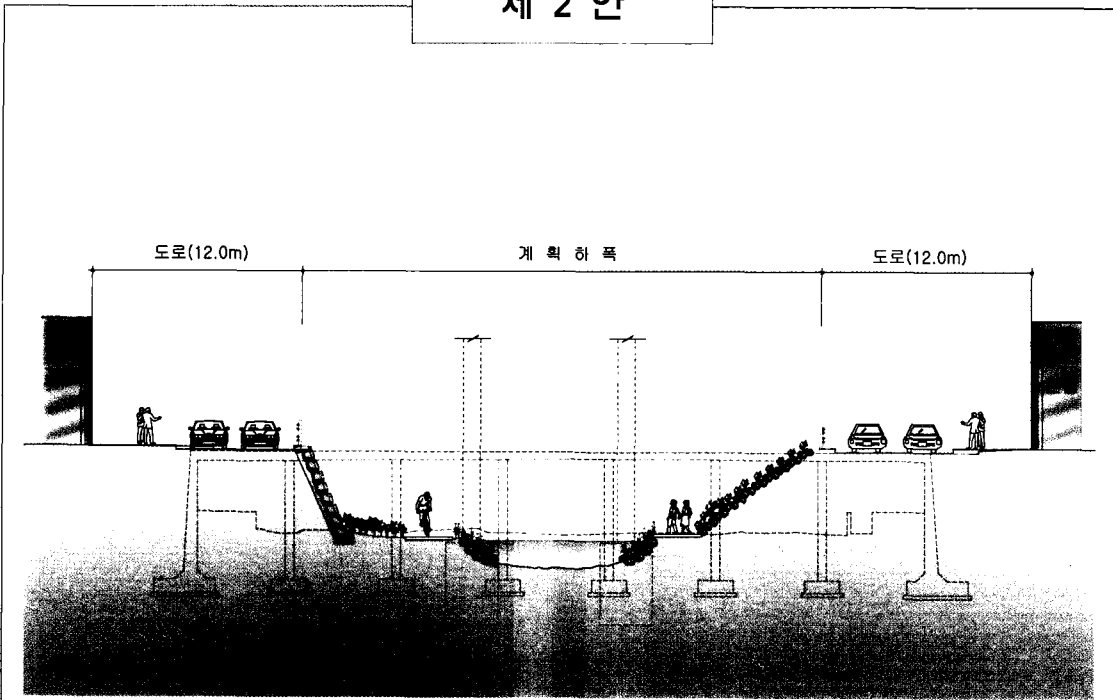
제 1 안



횡 단 계 획	장 · 단 점
<p>□ 기존 복개구조물 최대한 활용</p> <ul style="list-style-type: none"> • 양안 기존 복개구조물을 도로로 이용 • 하상을 굴착하여 홍수위 저하유도 • 태평로~삼일로간은 사면처리로 단면 계획 	<ul style="list-style-type: none"> • 장래 주변재개발시, 부분 복개구간 철거로 복원마무리 (건축선 후퇴전제) • 상당 구간 홍수량처리를 위한 단면확보 곤란 (50년 빈도 여유고 부족구간 발생) • 부분복개(도로이용구간)로 하천경관 저하 및 복개구간의 생태계 회복 곤란 • 접근이 곤란하여 친수성 저하 • 공사 중 교통처리 용이 및 민원최소화

그림 2. 하천복원 안별 횡단형(제 1안)

제 2 안



횡 단 계 획

장 · 단 점

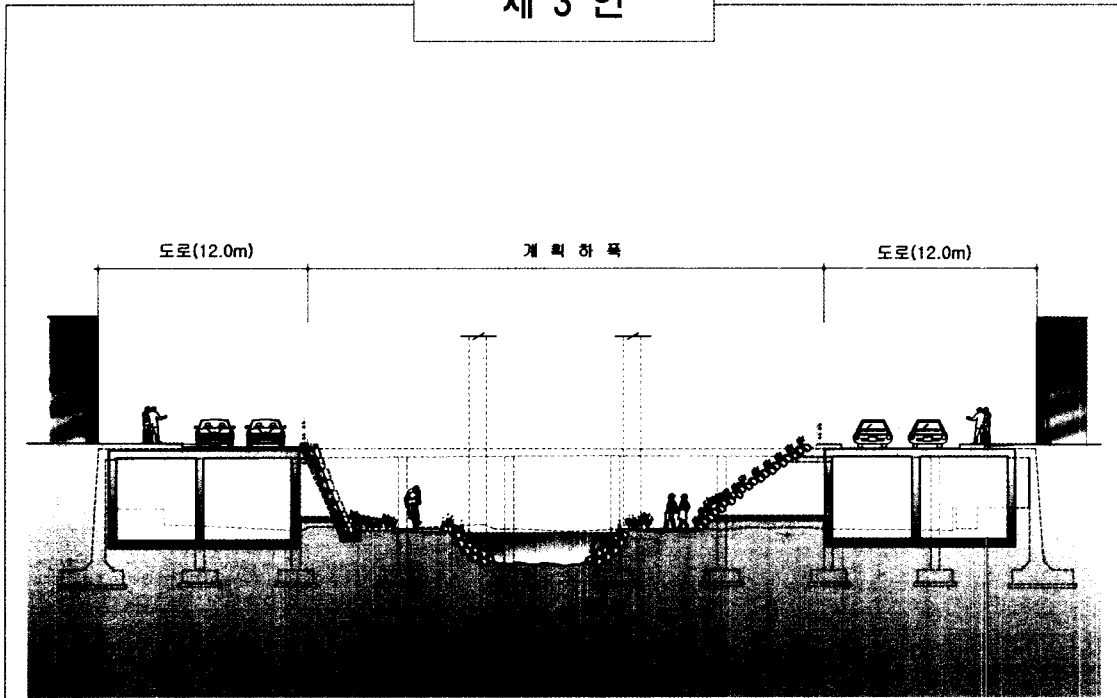
□ 양안 2차선 확보와 사면으로 단면계획

- 삼일로 상류는 원만한 제방경사와 고수부지 조성
- 하천폭 부족구간(삼일로 하류)
 - 하상굴착으로 홍수위 저하 유도
 - 제방을 급경사로 조성
 - 여유고 부족구간 흥벽설치

- 대다수 시민이 기대하는 단면형
- 통수단면이 적어 계획홍수량 처리를 위한 단면 확보 불가(50년 빈도 여유고 부족구간 발생)
- 대부분 제방이 급경사로 되어 자연형 하천으로의 효과 저하
- 남북교차 교량 중 슬라브가 홍수위 이하인 교량 발생

그림 3. 하천복원 안별 횡단형(제 2안)

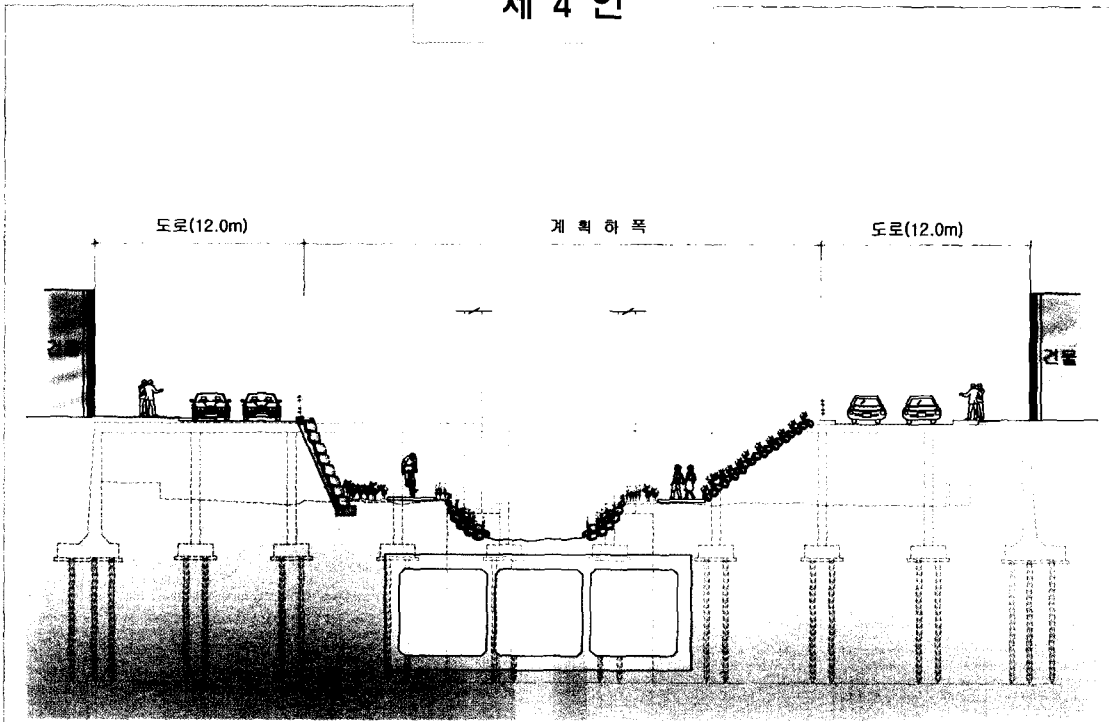
제 3 안



횡 단 계 획	장 · 단 점
<p>□ 도로 하부에 대형 Box를 설치하여 통수단면으로 이용</p> <ul style="list-style-type: none"> • 양안 사면으로 처리 • 하상을 굴착하여 홍수위 저하 유도 • 제방경사는 구간별로 조정 	<ul style="list-style-type: none"> • 일부구간 여유고 확보 곤란(200년 빈도) • 양안도로 하단 Box공사가 어렵고, 상당기간 상가 접근 차단 불가피(민원야기) • 현 복개 공간에 설치가 불가능한 구간발생 • 공사시 인접건물 피해예상

그림 4. 하천복원 안별 횡단형(제 3안)

제 4 안



횡 단 계 획

장 · 단 점

□ 하천바닥 아래에 대형 BOX를 설치하여 홍수량 처리

- 삼일로 ~ 정릉천 합류점 구간
- 하상을 굴착하여 홍수위 저하 유도

□ 양안 2차로 확보 후 사면처리로 단면 계획

• 적정 홍수위 유지 및 하천관리 용이

• 홍수로부터 도시 안전 확보

• 대심도 굴착 및 대형 구조물 공사로 공사비 증가 및 공기지연

- 구조물 : B=15 m, H=5 m

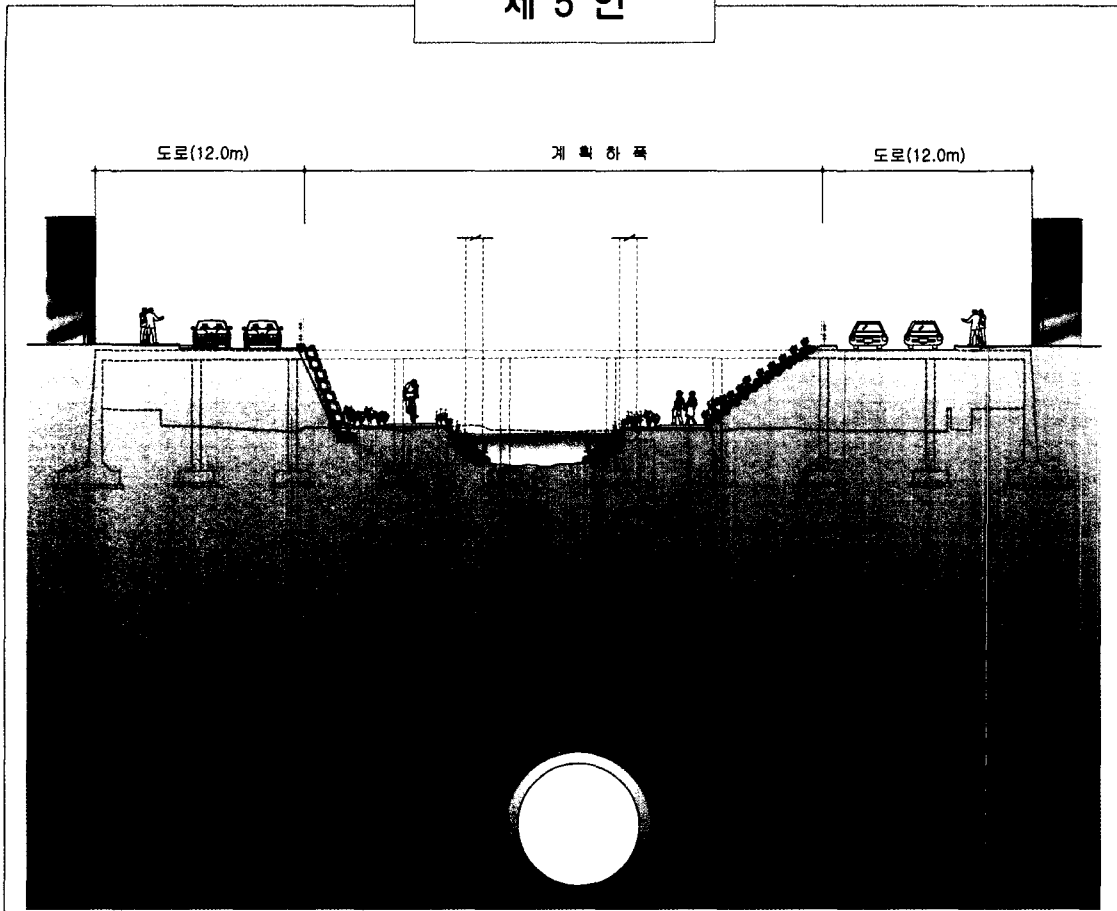
(굴착폭 19 m, 굴착심도 9~12 m)

• 지하철 터널 토피 부족(기준 6 m 대비 1.0 m 확보가능)

• 공사 중 우회수로 확보 불가로 적은 호우에도 공사중단

그림 5. 하천복원 안별 횡단형(제 4안)

제 5 안



횡 단 계 획	장 · 단 점
<input type="checkbox"/> 대단면 터널 설치로 홍수량 처리 <ul style="list-style-type: none"> • 하상을 굴착하여 홍수위 저하 	<ul style="list-style-type: none"> • 적정 홍수위 유지 및 하천관리 용이 • 홍수로부터 도시 안전 확보 ⇒ 도심 기존 침수지역 근본 해결 • 대단면 터널 공사로 공사비 증가 • 청계천 복원 공사와 별도로 공사를 진행할 수 있어 원활한 공정관리 가능
<input type="checkbox"/> 양안 2차로 확보 후 사면처리	

그림 6. 하천복원 안별 횡단형(제 5안)

- 3안
 - 공사 중 영업중단으로 인한 민원발생 및 영업 손실 과다
 - 복개외부 공사구간은 인접건물 피해우려
- 4안
 - 현 하천폭 축소의 고착화로 장래 하폭확장 여지가 없음
 - 하저에 또 다른 인공구조물과 구조물의 지속적인 유지관리 필요
 - 적은 강우에도 공사중단으로 공사기간 과다 소요
 - 공사비 증가(약 700억)
- 5안
 - 현 하천폭 축소의 고착화로 장래 하폭확장 여지가 없음
 - 하저에 또 다른 인공구조물과 구조물의 지속적인 유지관리 필요
 - 공사비 증가(약 1,000억)
 - 터널굴착암 처리용 대형 운반차량 도심은행 불가피

- 기존 복개구조물 하부 최대한 굴착
- 영업 손실의 최소화
 - 도로하부 BOX신설시 공사로 인한 영업중단을 없애기 위해 기존 복개구조물 보수이용(공기 단축으로 영업활동 조기 정상화)
 - 차집관로 정비는 가능한 기존 복개구조물 내에서 처리
- 경관개선
 - 기존 복개구조물 이용구간의 하천측 벽면처리로 경관개선
- 공사비 절감 및 공기단축

나. 고수부지고 산정

고수부지의 침수빈도는 연 3회 발생정도인 1일 약 80mm의 홍수량을 소통시킬 수 있는 높이로 설정하고 저면유속이 2.0m/s를 초과하지 않도록 계획하였음.

다. 유지관리를 위한 고수부지 폭 검토

고수부지 폭은 유지관리를 위한 차량의 통행 등을 고려하여 가능한 양안 3.5m 이상이 되도록 계획하되 차집관로가 고수부지내에 설치되는 구간에는 홍수위를 고려하여 단안만 유지관리용 폭원을 유지하도록 계획하였음.

라. 호안사면 계획

금번 계획은 하폭과 제방고(도로고)가 제한되어 있어 호안의 사면경사는 기존 복개구조물 이용구간에서는 고수부지폭과 관련이 있으며, 토공구간에서는 통수단면과 관련이 있다. 따라서 호안경사를 변화시켜

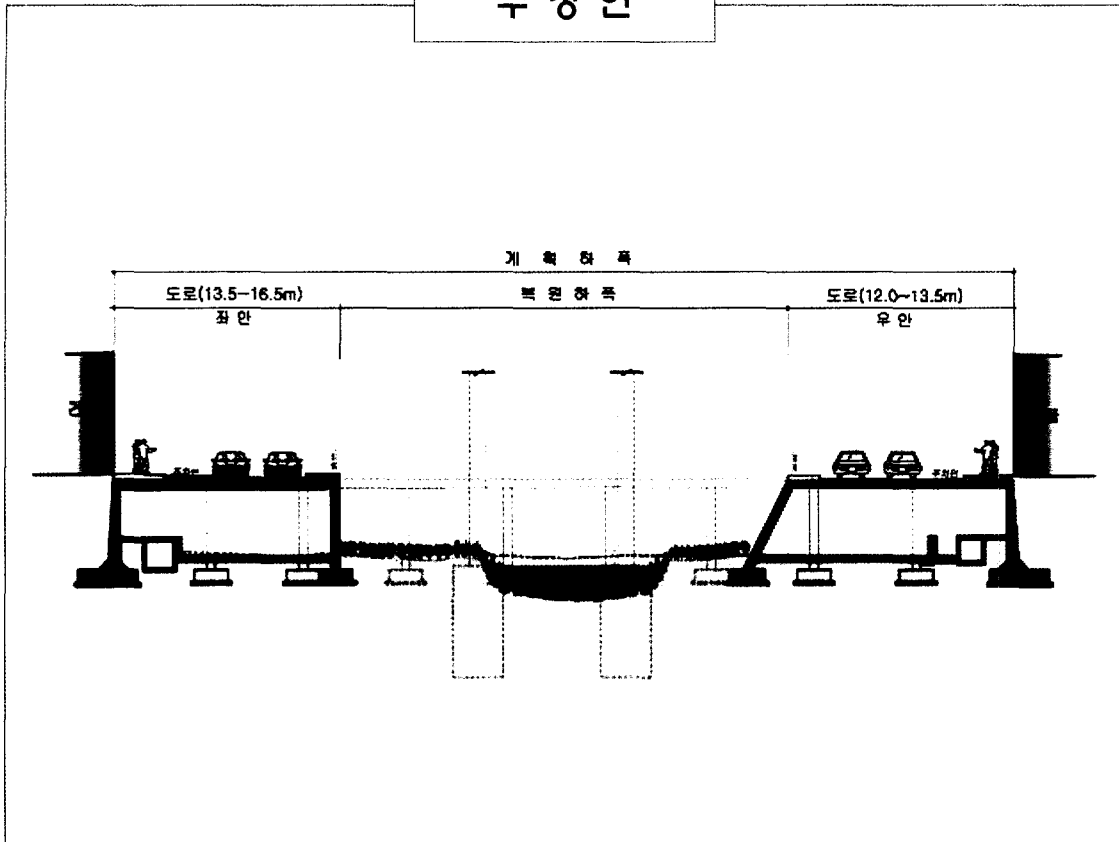
이상과 같은 문제점을 최소화하기 위하여 다음과 같은 관점에서 보완(안)을 계획하였다.

- 홍수위험을 줄이기 위하여 최대한 통수단면 확보
 - 양안도로 하부를 통수단면으로 이용
 - 하상굴착 및 저수로 폭 확대로 가능한 통수단면 확보

표 4. 호안경사 계획

구 간	위 치	측점(No.)	고수호안		저수호안		비 교
			좌 안	우 안	좌 안	우 안	
복개종점~고산자로		23+63~26+57	1: 2.5	1: 2.5	1: 2.0	1: 2.0	
고산자로~무학로		26+57~34+21	1: 0.5	1: 0.0	1: 2.0	1: 2.0	
무학로~난계로		34+21~40+71	1: 0.5	1: 0.5	1: 1.0	1: 1.0	
난계로~배오개길		40+71~63+90	1: 0.5	1: 0.0	1: 1.0	1: 1.0	
배오개길~무교동길		63+90~80+55	1: 0.3	1: 0.3	1: 1.0	1: 1.0	
무교동길~복원시점		80+55~81	1: 1.0	1: 1.0	1: 1.0	1: 1.0	

수정안



단면 계획	효과
<p><input type="checkbox"/> 기존 복개구조물 활용</p> <ul style="list-style-type: none"> • 양안 기존 복개구조물을 도로 및 통수단면으로 이용 • 하상을 굴착하여 홍수위 저하 	<ul style="list-style-type: none"> • 현재 통수단면을 최대화하여 통수능력 확보 • 장래 주변 재 개발시 하폭 추가확보 • 공사 중 연도변 상가의 불편 최소화

그림 7. 하천복원 횡단형(수정안)

가며 반복계산을 수행하여 다음과 같이 계획하였다.

마. 하천중단계획

통수단면의 부족시 하천을 개수하는 방안으로는 하폭의 확장이나 제방의 증고, 하상의 준설방안이 있겠으나, 본 청계천은 전술한 바와 같이 복개부 양측이 상가로 되어 있으며, 양안도로와 남·북간 도로의 교차 등으로 하폭의 확장이나 제방의 증고는 불가능함에 따라 하상의 굴착은 불가피하였다. 또한 내수와 관련 하여서도 제방의 증고는 좋은 방법이 아니며 가능하면 준설을 통한 방안이 치수상 유리한 방안으로 사료 된다.

따라서 급변 하천단면을 계획함에 있어 하천을 이용하는 시민의 접근성을 고려하여 고수부지고는 현재의 하상높이로 하고, 전술한 유지관리를 위한 폭을 감안하였다.

여론조사 결과 대다수의 시민이 친변이용을 원하고 있는바 시민의 하천 이용율을 높이기 위하여 연 3회 정도의 홍수를 감당할 수 있는 저수로 단면을 계획하되, 하상은 복개 시·종점부에서는 현재의 하상을 유지하고 복원하천 내에서 하상을 조정하면서 누차의 시산을 통하여 하상굴착이 최소화되도록 홍수위와 연계 검토하여 복원 단면안을 결정하였다(그림 7).

6. 하천 단면계획

가. 고수호안계획

사면경사계획은 하폭, 고수부지폭, 홍수위와 연계

하여 다음과 같이 검토 계획하였다.

- 복개종점~고산자로 : 복개부분이 현재 불법주차 견인차량기지로 이용되고 있는 구간으로 복개부를 철거후 경사 1:2.5로 사면처리
- 고산자로~배오개길 : 양안 복개부분을 도로로 활용하는 구간으로 사면 또는 벽체로 처리
- 배오개길~무교동길 : 양안을 1:0.3으로 계획
- 무교동길~복원시점 : 양안을 1:1.0으로 계획

나. 저수호안계획

저수호안은 저수로 높이가 높은 복개종점~무학로 구간은 1:2.0으로, 무학로 상류구간은 1:1.0으로 계획하였다.

다. 저수로폭

통수단면의 확보와 유지관리를 위한 고수부지 폭 등을 감안하여 6~30m로 계획하였다.

라. 하천단면계획

하천단면은 상기사항을 종합 고려하여 구간별 단면형을 계획하였으나 이는 완료 단면이 아니며, 주변개발 시 적절한 단면으로 재수정 개수되어야 할 것이다(그림 8~10).

III. 결 론

청계천 복원구간은 치수계획을 수립함에 있어 타 하천에 비하여 가장 취약한 조건을 가지고 있다. 즉 하천

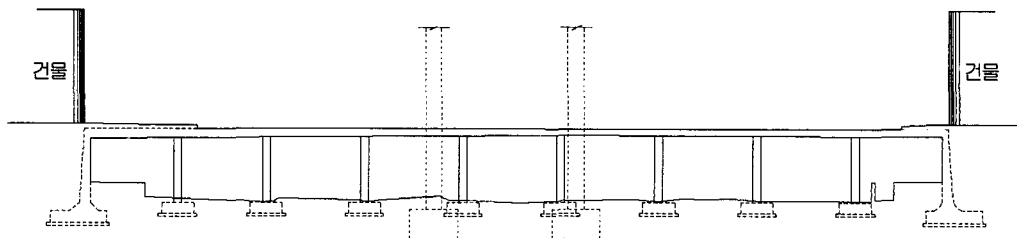
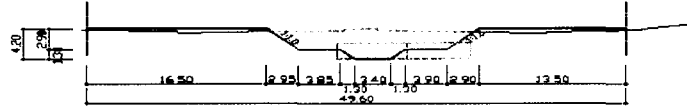


그림 8. 현복개 단면(예 : No. 51+50지점)

Type 1 복원시점부 ~ 무교동길



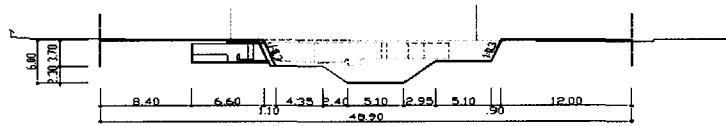
< 갑을빌딩 앞 >

Type 2 무교동길 ~ 광고



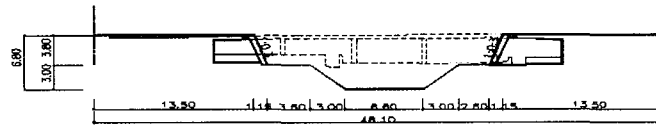
< 한국관광공사 앞 >

Type 3 광고 ~ 청계2가



< 청계2가 한국산업은행 앞 >

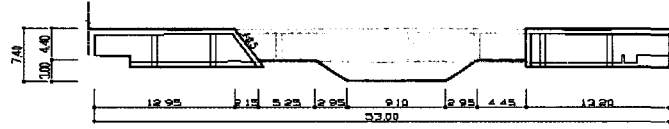
Type 4 청계2가 ~ 청계4가



< 청계3가 제일은행 앞 >

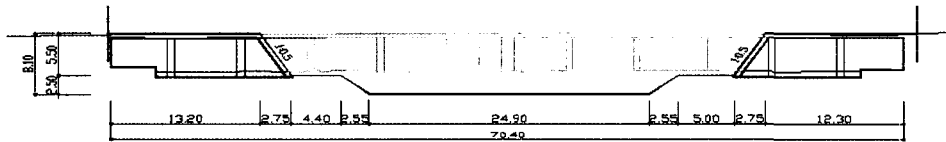
그림 9. 구간별 하천계획단면

Type 5 청계4가 ~ 청계8가



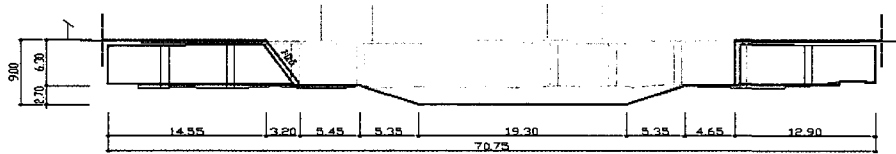
< 신평화상가 앞 >

Type 6 청계8가 ~ 청계9가



< 성북천 합류전 >

Type 7 청계9가 ~ 고산자로



< 성동종합사회복지관 앞 >

Type 8 고산자로 ~ 복개종점



< 복원종점 >

그림 9. 구간별 하천계획단면(계속)



그림 10. 장래 주변개발시 단면(예)

폭의 확장이나, 제방고(도로고)의 증고는 불가능한 실정이나 홍수피해의 위험도를 낮추기 위한 설계빈도의 상향을 원하고 있는 실정이다. 이와 같이 제한된 현재의 여건에서는 주변야(하천, 하수도, 환경, 조경 및 경관, 역사복원분야 등)의 욕구를 충족시킬 수 있도록 다음과 같이 우선순위를 정하고 우선순위에 맞지 않는 계획은 장래 주변여건의 변화에 따라 수행되어야 한다.

- 첫째 : 치수를 우선으로 홍수에 안전하도록 계획
- 둘째 : 현 사업범위를 초과하는 계획은 장래계획으로 유보

셋째 : 개선욕구의 현실화

- 복원은 현시점에서 완료가 아닌 재개발과 연계하여 지속되는 것으로 의식전환
- 제한된 조건 내에서 최선책 강구
- 우선순위에 반하는 계획은 장래계획으로 추진

넷째 : 주변 재 개발시 개선사항

- 적절한 하폭 및 법면(사면)경사 확보
- 천변공원조성 등 여유공간 확보
- 우수유출 저감시설의 도입 및 확대 실시