

WATER
FOR
FUTURE

포카라 및 포카라 유니트 공법을 적용한 환경보전형 호안설계 및 시공



김 이 현
경북대학 건설환경정보과 부교수
yhkim@kyungbok.ac.kr



전 성 곤
여주대학 토목과 교수
skjeon77@empal.com



전 진 응
동산콘크리트산업(주) 대표이사
dongsan@dongsancon.co.kr



서 대 석
동산콘크리트산업(주) 기술이사
webist@nate.com

다. 한편, 경제활동의 기반인 도로건설에 있어서는 연약지반 및 산간 경사지의 도로건설의 요구도가 높다. 또한 경제성 및 시공성의 면에서 프리캐스트 제품의 적극적 이용도 향후의 토목구조물 건설의 큰 흐름이다. 그리고 하천 호안공에 있어도 지금까지의 콘크리트 블록 쌓기 일변도였다. 호안을 환경보전형 블록 등에 의해 생태계·자연환경의 보전을 배려하는 것으로 되어 있다.

「포카라 및 포카라 유니트 공법」은 토목구조물을 가능한 한 프리캐스트화 해서 공사기간의 단축, 공사비의 절감을 도모하기 위해 싸고, 가볍고, 강한 구조를 목적으로 개발된 것이다. 또한 포카라의 공극을 이용한 하천호안의 적용에도 효과적이다. 통상 하나의 목적에 하나의 프리캐스트 제품이라는 발상이지만, 「포카라 및 포카라 유니트 공법」은 많은 목적을 달성할 수 있는 구조요소로서 개발되었다. ‘포카라(Pocara)’는 네팔어로 ‘호수’라는 뜻이다.

「포카라 및 포카라 유니트 공법」의 특징을 충분히 발휘할 수 있는 공법으로서 환경보전형 호안설계 및 시공방법을 기술해 보기로 하겠다. 또한, 여기서 부족한 점은 참고문헌 혹은 각 기관에서 정한 기준에 준하는 것으로 하며, 적절한 설계 및 시공을 시행하는 것으로 한다.

1. 서론

1.1 개요

최근 도시의 리스크 관리로서 다목적 공간이용을 전제로 한 우수저류, 홍수조절, 방화용수 확보 및 우수의 지하수함양의 토목구조물의 요구가 높아지고 있

1.2 「포카라 및 포카라 유니트 공법」의 특징

「포카라 및 포카라 유니트 공법」은 프리캐스트 부재인 공동콘크리트 블록「포카라」를 현장에서 조립하는 것으로 각종 구조물을 유니트화 하는 것을 목적으로 개발된 것이다. 「포카라」는 정육면체 시멘트 블록

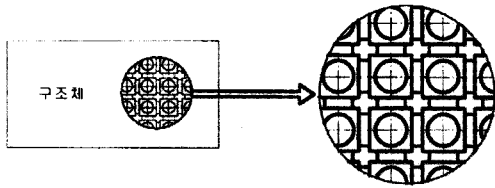


그림 1. 골격 집합체의 개요

의 각 면을 원통형상으로 구멍을 낸 것이고, 구조상으로 그 강도특성이 뛰어난 뿐만 아니라 경량성 및 높은 내부 공극율을 가진 공법 구성 소재이다. 구조체 내부를 단위의 골격을 가진 「포카라」로 구축함으로써 구조체 전체를 적절한 크기의 골격 집합체로 만들 수 있다.

「포카라 및 포카라 유닛 공법」은 아래의 특징을 가진다.

- ① 단면의 급변부를 없애고 응력의 집중을 작게 한 구조이기 때문에 무근콘크리트면서 높은 강도의 특성을 가지고 있다.
- ② 상기 구조특성을 갖게 함으로서 고강도면서 높은 공극율 및 경량성을 실현할 수 있다.
- ③ 연결구인 「십자블록」의 사용에 의해 간소하고 안정된 구조체의 구축이 실현될 수 있다.
- ④ 콘크리트 구조이기 때문에 부식의 염려가 없고 내구성이 뛰어나다.
- ⑤ 콘크리트 제품임에도 불구하고 경량이기 때문에 조립작업에 대형 중기를 필요로 하지 않는다.
- ⑥ 공극율이 높기 때문에 효율적으로 지하 저수조의 구축이 가능하다.
- ⑦ 경량이며, 또한 하중전달이 면에 작용하기 때문에 연약 지반상의 구조체 구축에 대하여 유리하다.
- ⑧ 공극에 요석이나 쇄석 등을 충전하므로 다공질 구조체를 만드는 것이므로 자연활착으로 식생이나 동식물의 생식공간을 창출할 수 있다.

1.3 적용 범위

「포카라 및 포카라유닛 공법」은 사용한 환경보전형 호안공법, 지하 저수지 공법, 경량성토공법 등

이 외에도 다양하게 적용된다.

1.3.1 환경보전형 호안공법

- (1) 「포카라 환경보전형 호안공법」이란 프리캐스트 제품인 「포카라」를 대략 1:0.3~1:1.0의 구배로 쌓아올려 내부에 요석이나 쇄석 등을 충전하여 토압 등에 저항하는 호안공법을 말한다. 결과적으로 다공질인 구조체가 되기 때문에 어류의 생식, 다양한 생태계의 유지와 더불어 자연활착에 의한 자연식생 등을 기대할 수 있는 빈 공간 쌓기 호안공법을 말한다.
- (2) 포카라 환경보전형 호안공법으로는 호안공, 근고공 및 호상공 등이 있다. 호안공은 경사 쌓아올리기 형과 계단형으로 나누어진다.

- 우수 저류 공법 : 우수저류 및 용수이용
합류식 우수류 및 정화 방류
- 홍수 조절 공법 : 저류형 홍수 조절지
방류형 홍수 저질지
- 지하수 함양 공법 : 지하 저수지형 함양지
drain형 함양지
- 방화 수조 공법
- 각개 저류 공법
- 수중성토공법 : 경량성토공법의 응용
(저수지 등의 매립)

1.3.3 경량성토공법

- (1) 「포카라 경량성토공법」이란 프리캐스트 제품인 「포카라」를 주로 한 부재의 편성으로 구축되는 성토공법을 말한다.
- (2) 경량성토공법의 위치설정 도로확폭, 용지조성 등에 있어서의 성토공법은 아래와 같은 공법으로 대별되는데 이 중에서 「포카라 경량성토공법」은 경량성토공법에 속한다.
- (3) 프리캐스트 부재인 「포카라를 사용한 경량성토 구조체의 적용공법으로는 아래와 같은 것으로 나타낼 수 있다.

표 1. 성토공법과 특징

대상공법	요인	용지에 제한이 있다	기초 지반이 연약하다 안정도가 부족함	사면 전체의 활동	그 외
① 토질 재료에 의한 성토공법		(불가능한 경우가 많음)	(지반 개량 등이 필요)	활동을 유발한다	발생토 이용이 가능
② 역 T 옹벽 + 기초말뚝 공법		(가능)	지반 개량 및 말뚝 기초 병용	별도 역제말뚝 등이 필요	발생토 이용이 가능
③ 보강 토공법	보강토공법	(가능)	성토에 대한 지반의 강도가 필요	별도 역제말뚝 등이 필요	발생토 이용이 가능 (토질에 따라 양질 토가 필요)
	앵커공법				
	텐서 공법				
④ 경량성토 공법	발포스チ로폴공법	(가능)	(가능한 경우가 많다)	(가능한 경우가 많다)	발생토 이용은 불가
	포카라공법	(가능)	상당부분 개량한 경우도 있다	활동 유발 하중이 작다	발생토 이용은 불가
	발포 시멘트 공법	(가능)	상당부분 개량한 경우도 있다	활동 유발 하중이 작다	발생토 이용은 불가

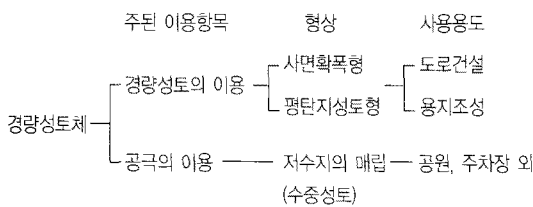


그림 2. 경량성토 구조체의 적용공법

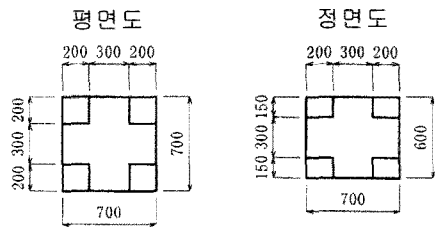


그림 3. 「십자블록」의 표준치수

이 외에도 통수성을 이용한 공법으로서 산간지 도로성토에 수반하는 지하수를 적극적으로 배수해 재해 원인이 되는 물치리를 합친 공법에 적용하고, 또한 구조물 배면에 구축하는 것에 의한 토압저감공법에도 적용이 가능하다.

1.4 표준 사양

「포카라」는 「포카라 유니트 공법」을 구축하는 주요한 구성소재이며, 그 표준사양은 다음과 같다.

표 2. 「포카라」의 표준사양

제원	제품번호	POCARA-1290	POCARA-1952
		재료	콘크리트
	설계기준강도	$\sigma_{ck}=500\text{kg/cm}^2$	
규격	제품 폭 (mm)	1,200	1,200
	제품 길이 (mm)	1,200	1,200
	제품 높이 (mm)	1,200	1,200
	내부 공동 직경 (mm)	900	900
	제품중량 (kg/개)	1,125	935
성능	선형파괴내력 (tf)	173	92
	설계기준내력 (tf)	75	40

「십자블록」은 「포카라 유니트 공법」을 구축할 때

「포카라」의 연결재이며, 그 표준사양은 다음과 같다.

2. 조사

2.1 일반 현황

조사는 합리적이고 경제적인 계획, 설계, 시공을 실시하기 위해서 필요한 자료를 얻는 것을 목적으로 한다. 일반적인 조사계획 및 토질조사 등의 조사방법에 대해서는 일반도로공사 지침서 등의 기준을 참고하여 조사하는 것으로 한다.

2.2 조사

2.2.1 기존자료의 수집

토질, 지형, 지질 등의 상황을 파악하기 위한 자료로서 지형도, 항공사진, 지질도, 계획 개소 주변의 다른 공사의 토질·지질조사 보고서 등의 기존자료를 수집한다. 또한 과거에 계획 개소 주변에서 실시된 공사기록, 재해기록 등도 많이 참고가 되며, 공사계

획에 영향을 주는 기상조건, 환경조건 등의 자료도 참고로 한다.

2.2.2 현장조사

현장조사는 수집한 자료의 정리 결과로부터 「포카라 유닛 공법」을 시공현장 일대의 지형, 토질, 지질, 환경 등의 기초조사와 일치하는지 실제로 조사하는 것을 목적으로 하고, 기존 자료의 미비한 점을 보충하기 위해 필요한 시험을 실시하여 종합적으로 판단한다. 더불어 충분한 경험을 가진 자를 담당하도록 하고, 충분한 조사를 실시할 필요가 있다. 또한 현장 조사는 합리적이며 경제적인 계획, 설계, 시공을 실시하기 위해서이다. 필요한 자료를 얻는 것을 목적으로 하며 주된 조사항목은 다음과 같다.

- 재료의 운반방법, 운반경로 및 보관장소
- 「포카라 유닛 공법」의 시공성의 난이도
- 사면 활동지대, 붕괴지대, 연약지반, 단층, 절벽의 유무와 정도
- 「포카라 유닛 공법」의 적부와 우열
- 주변의 환경에 미치는 영향
- 지형 및 지질조사
- 기존 구조물의 조사
- 지표상태 및 식생조사
- 지하수위, 우수 개소 및 수리의 상황조사
- 본 조사의 규모와 조사항목의 적부

2.2.3 현지반의 조사

구조물의 기본계획에 따라 조사계획을 세워 필요한 토질조사를 실시해야만 한다. 또한 지지력, 활동침하 등에 영향을 주는 범위에 대해 조사해야 하고, 조사항목으로서는 다음과 같다.

- ① 기초 지반 지지력의 계산에 필요한 설계정수를 구하는 조사(현지반의 설계정수 γ , ϕ , c)
- ② 구조물 활동 안정검토에 필요한 설계정수를 요구하는 조사(현지반의 γ , ϕ , c)
- ③ 압밀침하의 검토에 필요한 설계정수를 구하는 조사

3. 환경보전형 호안공법

3.1 공법 개요

3.1.1 서론

포카라 환경보전형 호안공법은 콘크리트 프리캐스트 제품인 포카라를 호안블록으로 사용하며, 공극에 하상재료, 쇄석 혹은 발생 콘크리트 찌꺼기 등을 충전하는 구조이다. 기본적으로는 환경보전에 따라 습설 수 있는 호안으로서 공적블록 호안공으로 설계하지만 흐름이 빠른 부분에 있어서는 연적구조로 하는 경우도 있다.

3.1.2 공법 소개

포카라 환경보전형 호안공법은 포카라 및 속채움에 의한 블록을 하천호안, 근공공, 호상공으로 사용하는 공법이다.

- ① 포카라 블록의 공극에 하천재료, 쇄석, 토사, 콘크리트 찌꺼기를 충전하고, 다공질 호안블록을 축조하여 습설 수 있는 다양한 생태계의 생식 환경을 확보하는 공간으로 이용한다.
- ② 재해시에 발생한 콘크리트 찌꺼기를 포카라 블록의 공극에 채워 이용하는 것으로 건설폐기물의 재활용이 가능해진다.
- ③ 포카라 블록은 무근구조이므로 내구성이 뛰어나고 또한 재활용 골재, 예코 시멘트 등 본체 제품에 관한 재활용의 가능성을 가진다.
- ④ 다공질이기 때문에 어류, 수생 동식물의 생식환경을 피할 수 있다.
- ⑤ 주로 현장의 하천재료를 사용하므로 현황하도의 환경보전을 피함과 동시에 우수와의 친숙함이 좋고, 세굴 등의 재해원인을 부드럽게 억누르는 공법의 고안이 가능해진다.
- ⑥ 조립형상에 경사공적형과 계단상공적형이 있고, 친수공간의 창출을 피할 수 있다.
- ⑦ 속채움 후의 단위중량은 1.99tf/m^2 이므로 다공질이며, 안정적이다.

3.2 설계모델 및 설계조건

3.2.1 설계 모델

포카라에 의한 환경보전형 호안공법의 안정은 작용하는 토압에 자중으로 저항하는 블록옹벽 모델로서 아래 그림에 나타내는 항목에 관련되어 안정검토를 실시하는 것을 기본으로 한다.

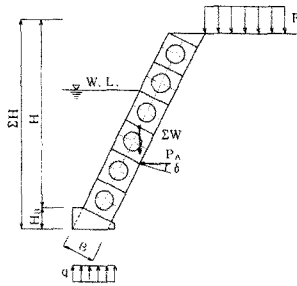


그림 3. 블록옹벽 모델

<외력 검토>

그림 3에서 P는 재하중(활하중)이고, ΣW 는 호안 자중이다.

또한 전면 수위에 대해서는 벽체에 작용하는 부력을 고려하는 것으로 하고, 투수성 호안이므로 잔류수위는 고려하지 않는다.

<안정검토>

• 전도에 대한 검토

토압과 자중의 합력, 중심위치가 옹벽의 전방 미들서드 위치보다도 후방에 위치할 것.

• 활동에 대한 검토

블록끼리의 접합면에 있어서 거기에서부터 상부에 있는 블록 전체에 작용하는 토압에 대해 블록 상호간의 활동저항력이 필요한 안전율을 확보 할 것.

또한 조사위치는 토압이 가장 큰 최하단 블록 위치로 하고, 블록의 접면구배를 고려하여 검토한다.

• 지지력에 대한 검토

기초저면에 작용하는 반력이 지반의 허용 지지력

를 상회하지 않을 것.

또한 기초저면에 작용하는 반력은 기초저면에 균등하게 분포하는 것으로 하여 검토한다.

3.2.2 설계 조건

(1) 호안의 표준구조

포카라 환경보전형 호안은 포카라 내부에 속채움재를 충진한 기대기식 블록 옹벽구조를 기본으로 하고, 배면수 및 토압의 국소화를 방지하기 위해 뒷채움재를 배치한다.

하천호안의 경우 근입깊이는 1.0m 이상으로 하지만, 1.0m를 확보할 수 없는 경우는 별도 Sheet pile 및 근고공에 의한 세굴방지 대책을 실시한다.

(2) 사용 재료 및 단위중량

① 포카라(635형)

i) 제원

- 치수 : 외경 0.60m
내경 0.35m
- 콘크리트 용적 : $V_c=0.103\text{m}^3/\text{개}$
- 내부 공극 용적 : $V_v=0.113\text{m}^3/\text{개}$
합계 = $0.216\text{m}^3/\text{개}$

ii) 단위중량

기대기식 블록옹벽공법은 벽체중량에 의해 토압에 저항하는 구조이기 때문에 안전을 고려하여 포카라의 중량은 콘크리트 단위중량 $\gamma_c = 2.3\text{tf}/\text{m}^3$ 으로서 산출한다.

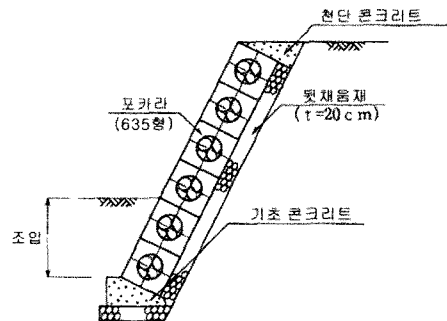


그림 4. 블록옹벽 구조

- 포카라 1개 중량 : $W_p = 0.103\text{m}^3 \times 2.3\text{tf/m}^3$
 $= 0.237\text{tf/개}$
 $(W_p' = 0.103\text{m}^3 \times 1.3\text{tf/m}^3 = 0.134\text{tf/개})$

- 단위중량 : $W_p = 0.237/0.60^3 = 1.10\text{tf/m}^3$
 $(W_j = 0.134/0.60^3 = 0.62\text{tf/m}^3)$
 W_p', W_j : 수중 중량

② 속채움

속채움재는 할요석 및 쇄석을 사용하는 것으로 하여 단위중량은 1.7tf/m^3 를 표준으로 한다.

- 포카라 1개 당 : $W_s = 0.113\text{m}^3 \times 1.7\text{tf/m}^3$
 $= 0.192\text{tf/개}$

속채움재 중량 ($W_{sp}' = 0.113\text{m}^3 \times 0.8\text{tf/m}^3 = 0.090\text{tf/개}$)

- 단위중량 : $W_s = 0.192/0.60^3 = 0.89\text{tf/m}^3$
 $(W_s = 0.090/0.60^3 = 0.42\text{tf/m}^3)$
 W_{sp}', W_s' : 수중 중량

③ 콘크리트재 (현장 시공)

- 무근콘크리트 : $\sigma_{ck} = 160\text{kgf/cm}^2$ 이상
 $\gamma_c = 2.3\text{tf/m}^3$

(3) 작용 외력

① 상재하중

상재하중으로서 자동차 하중 또는 균집하중을 고려한다.

- 자동차 하중 : $P = 1.0\text{tf/m}^2$
- 균집 하중 : $P = 0.35\text{tf/m}^2$

② 토 압

옹벽 배면에는 토압을 고려한다. 또한 토압은 쿨롬 토압에 의한 산출을 기본으로 하고, 배면성토형상이 일률적이지 않은 경우에는 쿨롬토압의 도식해법인 시행 췌기법에 따르는 것으로 한다.

(4) 허용치

① 옹벽 안정에 대한 허용치

i) 전도에 대한 검토

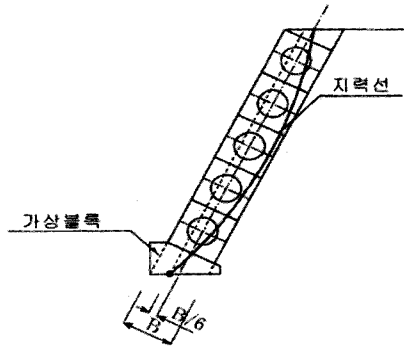


그림 5. 전도에 대한 검토

전하중의 합력 중심위치(지력선)가 옹벽쪽에 대하여 전방 미들 서드보다도 후방에 있는 것을 전도에 대한 안정조건으로 한다. 또한 안전을 위해 기초 콘크리트부도 상부 블록이 연속하여 있는 것으로 검토하고, 중량도 상부 블록중량을 이용하는 것으로 한다.

ii) 병진운동에 대한 허용치

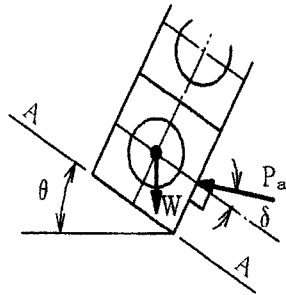


그림 6. 병진운동에 대한 허용치

최하단블록에 작용하는 토압력에 대해 옹벽경사 각 방향 A-A의 활동안전을 검토한다.

$$F_s = \frac{W \cos \theta + P_a \sin (\delta - \theta)}{P_a \cos (\delta - \theta) - W \sin \theta} \cdot \mu \geq F_{sa}$$

여기서 F_s 는 활동안전을이고, W 는 수직하중이며, P_a 는 토압합력이고, θ 는 옹벽의 경사각이다. 그리고 δ 는 벽면 마찰각이고, μ 는 마찰계수(일반적으로 0.5)이며, F_{sa} 는 필요 안전율(일반적으로 1.5)이다.



iii) 지지력에 대한 허용치

블록 중량, 기초 콘크리트 중량 및 토압 연직성분을 합한 전중량을 저판폭(B_b)으로 나누어 구한 지반 반력 q (tf/m^2)가 현장지반의 허용지지력을 상회하지 않는 것을 조건으로 한다. 🌀

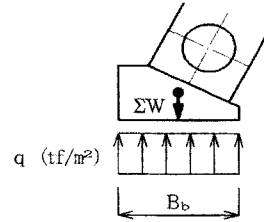


그림 7. 지지력에 대한 허용치

4. 공법 상세도

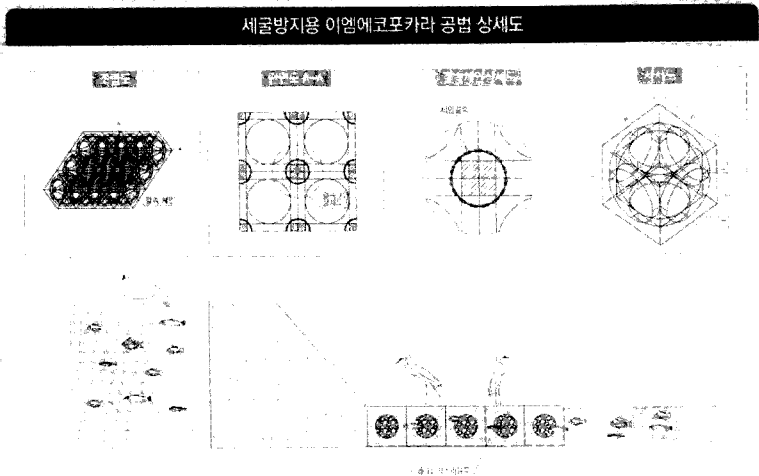
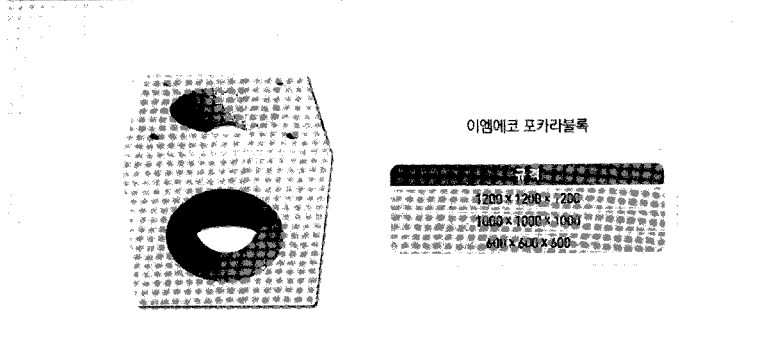
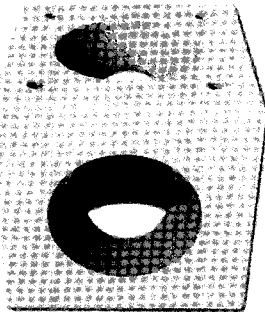


그림 8. 세굴방지용 공법



이엠에코 포카라블록

규격
1200 × 1200 × 1200
1000 × 1000 × 1000
600 × 600 × 600

유입수 수질정화용 이엠에코 포카라 공법 상세도

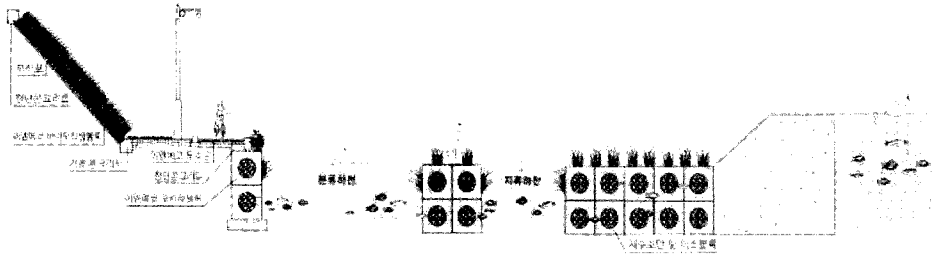
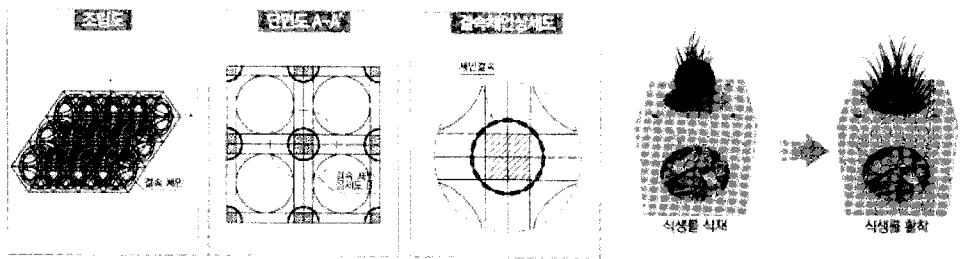
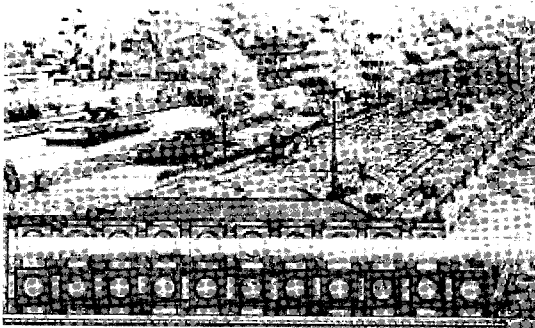


그림 10. 유입수 수질정화 공법

5. 시공사례



〈수중성토공법〉



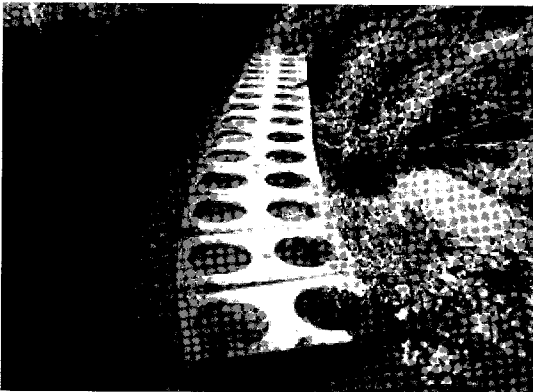
〈수세회복공법〉



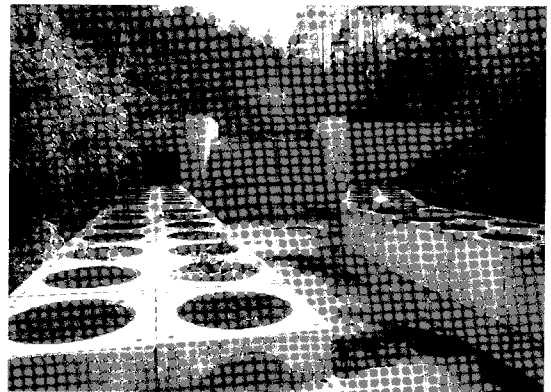
〈녹화사면 댐 공법〉



〈공생형 하천 호안공법〉



〈수제공〉



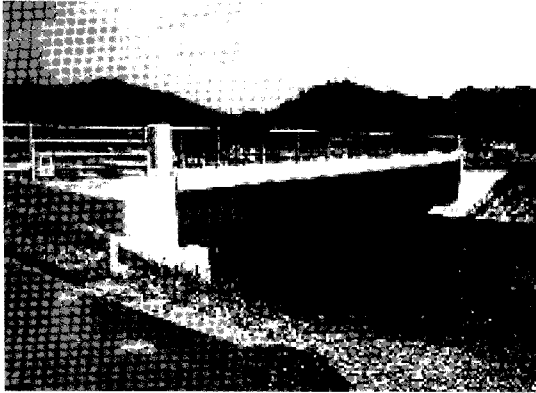
〈유로공〉



〈새월교〉



〈하상유지공〉



〈호안공〉



〈어소공〉

참고문헌

1. 동산콘크리트산업주식회사, Dongsan Environment-Friendly Products.
2. 리타종합기획, 포카라공법 설계 매뉴얼.
3. 리타종합기획, 포카라공법 설계 계산.
4. 리타종합기획, 포카라공법 수량계산서.
5. 리타종합기획, 포카라 유니트 공법 설계·시공 기준(안).