



海面干拓事業과 技術의 定立

Tideland Reclamation Projects and Establishment of Technology

鄭 斗 喜*

Chung, Doo Hi

Abstract

Tideland Reclamation Projects, which have played a significant role in selfsufficiency of food in Korea, are being greatly restricted nowadays in their implementation due to their demands of big amount of construction costs and their severe malfunctioning of contaminating the marine environment.

Under the situation, this paper was prepared not only to stimulate the Government to continue the imlementation of new tideland reclamation projects, but also to contribute to the development of tideland reclamation technology by which the construction costs and malfunctionings could be minimized.

Eventhough, the functioning of filters is considered to be important for the safety of seadikes, their planning and design are being made unreasonably in view point of construction cost and strutural safety. Therefore, a reliable planning and design method for filters is presented in this paper on the basis of filter theory.

In this way, we professional engineers corncerned should endeavor to develop more advanced technology, by which the Government would implement the tideland reclamation projects continuously to supply the land and water more steadily in time.

1. 머리말

해양 지향적 국토 개발의 유일한 수단인 해면 간척 사업은 그동안 우리나라 주곡의 자급 달성에 일익을 담당하여 왔다. 그러나 이러한 간척 사업이 최근에 와서는 막대한 사업비의 소요, 수산업 잠식, 해양 환경 오염 등의 역기능과 UR 타결 후 쌀 농사에 대한 인식의 변화로 그 시행이 상당히 억제되고 있다.

우리나라 서남 해안에 부존되어 있는 농경지로의 개발 가능한 간척 자원은 약 402천ha에 달하는데 1946년부터 지금까지 128천ha가 정부와 민간 사업 형태로 개발되었거나 개발 중에 있고 나머지 274천ha는 정부의 신규 간척 사업 억제 정책으로 인해 그 개발이 상당 기간 지연될 전망이다.

모든 사업이 그러하듯이 간척 사업도 그 시대의 경제적, 사회적, 기술적인 조건에 따라 그 시

*농어업토목 기술사, 노아엔지니어링(주) 부사장

행의 당위성에 대한 평가가 달라질 수 있는 것이나 간척 사업은 그 계획·설계 및 시공에 막대한 예산과 시간이 소요되기 때문에 장기적인 안목으로 사전에 지속적으로 이를 추진해 나가지 않으면 토지와 물을 적기에 공급할 수가 없는 것이고 이에 따라 기대하는 바의 사업 효과를 거둘 수 없음을 정부가 부인해서가 아니고 다만 국가 예산 형편상 투자의 우선 순위가 타 사업에 밀리기 때문이라.

이러한 상황 하에서 간척 사업의 계획·설계를 맡아하는 우리 토목 기술사들은 무엇을 어떻게 하여야 할 것인가를 생각해보지 않을 수 없을 것이다. 그것은 마땅히 경제성, 안전성, 내구성, 환경 보전성을 토목 설계의 기본 이념으로 하여 간척 사업의 순기능을 극대화하는 한편 역기능을 최소화하는 기술을 개발하여 이를 적용하고 그렇게 함으로써 공사 원가가 절감되는 한편 건설 재해가 방지되고 해양 환경이 보전될 수 있는 보다 개선된 방식의 간척 사업이 지속적이고 적극적으로 시행되도록 하는 일일 것이다.

해면 간척 사업의 주 공종인 방조제는 막대한 공사비가 소요되기 때문에 지나치게 안전성에 치중하여 조금이라도 비경제적으로 계획·설계될 때는 상당한 공사비 증가로 사업의 투자 효율이 크게 저하될뿐만 아니라, 경제성만을 너무 추구하여 불안정하게 계획·설계될 때는 그의 결과로 인한 재시공 또는 보수 공사 시행으로 야기되는 사업비 손실은 물론, 해양 환경 파괴 등 해면 간척 사업의 역기능이 배가가 되기 때문에 해면 간척은 그 계획·설계 단계부터 높은 수준의 기술이 필요하다.

우리나라에서는 지난 50년간 약 1,700개 지구의 크고 작은 간척 사업이 시행되어 왔는데 그 과정에서 경험하게 된 수많은 성공과 실패를 토대로 하여 이제는 상당한 수준으로 간척 기술이 발전되었으며 설계 기준도 잘 정립되어 있다. 그러나 아직도 발전시키고 기준 정립하여야 할

몇가지 과제가 남아있어 실무자들은 계획·설계 때마다 되풀이되는 고민을 해야하고, 감사시에는 불확실한 답변을 하느라 곤혹스러움을 당하고 있는 실정이다.

그 대표적인 것이 방조제 시공시의 침하 및 유실량 산정, 배수 갑문 임시 물막이 설계, 필터 설계 등인데 본고에서는 아직까지도 그 중요성이 제대로 인식되지 못하고 있을뿐더러 설계자간에 계획·설계 방법 등이 상이해서 기술 처리의 객관성이 결여되어 있는 방조제의 필터·설계 기법을 군·장 국가 공업 단지 남측 도류제 필터 계획·설계를 사례로 하여 정립·제시함으로써 앞으로의 해면 간척 계획·설계 업무 수행에 도움을 주고자 한다.

2. 필터의 이론

2.1 필터 설치의 목적

일반적으로 저수지의 제당이나 방조제를 입도가 대단히 다른 재료를 인접시켜 축조하면 제체를 침투하는 물로 가는 입자가 이동 유출되고 마침내는 Piping 작용이 유발되어 제체의 안전성이 상실된다.

특히 방조제 축조에 많이 사용되고 있는 사석, 콘크리트 블럭, 돌망태 등은 투수성이 크므로 연속되는 파력은 공극을 통하여 성토부까지 그 영향을 미치게 되어 흡출 작용이 일어난다. 이러한 흡출 작용에 의해 성토 재료는 사석제 밖으로 유출되어 점차적으로 공동 현상이 발생하여 제체가 붕괴된다.

따라서 성토재가 사석제 공극을 통과하지 않고 침투한 물이 안전하게 스며 나갈 수 있는 조건을 갖춘 입도의 모래, 자갈, 울석층을 성토재와 사석재 사이에 2~3층 설치하므로써 여과작용을 하게 하여 제체의 안전을 도모할 목적으로 필터를 설치한다.

2.2 필터의 중요성

필터는 어떠한 재료라도 좋다는 사고 방식이 널리 퍼져가면 갈수록 그것에 비례하여 필터의 중요성이 더욱 강조되어야 하므로 필터는 저수지 제당이나 방조제 설계에서 신중히 다루지 않으면 안 되는 것이다. 필터의 설계를 엄격히 하고 있는 최근의 필댐과는 달리 과거의 필댐 사고의 원인의 첫째가 필터를 설치하지 않았던가 또는 설계가 부적당함으로 발생했던 누수였음과 또한 수많은 방조제 결과가 필터의 부적절한 설계·시공으로 일어났던 공사 기록을 볼 때 필터의 중요성은 대단히 큰 것이다.

2.3 필터의 조건

1) 필터의 입경

필터 재료는 배수를 위해 바닥 재료 보다 투수성이어야 하지만 가는 입자의 유출을 막기 위해서는 바닥 재료와 비교하여 너무 투수성이 커서도 안 된다는 필터 법칙이 Terzaghi, Casagrand, Burtram, 미국 개척국, 미국 육군 토목부, 화란 Delft University 등에 의하여 연구되었는데 공통된 의견은 다음과 같다.

- Piping 현상을 확실하게 방지하기 위하여 $F_{15}/B_{15} > 5$ (F_{15} : 필터 재료의 15% 입경, B_{15} : 바닥 재료의 15% 입경)이어야 함.

- 필터의 투수성이 바닥의 투수성보다 크기 위하여 $F_{15}/B_{85} < 5$ 이어야 함.

- 필터와 바닥의 입도 곡선은 대략 평행이어야 함.

- 바닥에 자갈이 섞여 있으면 그 중에서 25mm 이하의 가는 입자에 대해서만 고려하면 됨.

- 필터에는 표준체 No.200(0.074mm) 이하의 입자를 5% 이상 함유해서는 안 되며 점착성이 있어서는 안 됨.

- 필터 재료의 최대 치수는 바닥이 흙이나 모래인 때 7.6mm로 함.

2) 필터의 두께

필터의 두께는 이론적으로 얇아도 좋으나 방

조제는 수중에서 축조되고 조류와 파랑이 작용하며 필터 포설 표면이 평탄하지 않는 점과 수련공이나 시공 장비의 능력 등을 감안하여 결정하여야 한다.

수직 또는 경사형 필터는 매 층마다 0.5m 이상으로 경우에 따라서는 수 m의 두께로 함이 필요한데 경제성으로 보아 재료를 엄격히 검토하여 얇게 계획함이 유리한 경우도 있으나, 두께를 두껍게 하면 할수록 필터 조건으로부터 허용 범위가 커지는 점을 고려하여 계획함이 필요하다.

따라서 수직 및 경사형 필터의 두께는 조수의 흡출 작용이 주로 발생하는 대조 평균 만조위를 기준 표고로 하여 결정하되 최소는 2.4~3.0m로, 가능하면 3.6~4.2m로 하도록 권장하고 있는데 Filter Mat로 대체되는 모래층의 두께는 1.0m 정도로 간주하기로 한다.

3) 필터의 비탈 기울기

필터의 비탈 기울기는 덤프하여 포설되는 재료의 안식, 최대 입경, 시공성 등을 고려하여 결정하여야 한다.

재료의 안식각은 그의 내부 마찰각 보다 적어야 하는데 내부 마찰각은 압축 강도가 큰(700kg/cm² 이상) 경암일 경우 $D_{50}=2\sim 10\text{cm}$ 의 울석은 40°로 그리고 $D_{50}>15\text{cm}$ 의 돌은 45°로 하고, 압축 강도가 작은 암에서는 35°로 함이 안전하다.

일반적으로 울석층의 비탈 기울기는 1:1.2, 자갈층의 비탈 기울기는 1:1.5로 하면 된다.

3. 방조제 필터의 계획·설계성과 내용

우리나라의 대표적인 방조제에 대한 필터의 계획·설계 내용은 다음과 같다.

3.1 필터층

· 아산 방조제	모래층, 자갈층, 율석층	영산강 하구둑 필터매트는 시공 보류
· 남양 방조제	모래층, 자갈층, 율석층	
· 삼교천 방조제	모래층, 자갈층, 율석층	
· 영산강 하구둑	자갈층, 필터매트, 율석층	
· 금강 하구둑	자갈층, 율석층	
· 해남 지구 방조제	필터매트, 혼합필터	
· 시화 방조제	필터매트, 혼합필터	
· 새만금 지구 방조제 (일반 구간)	필터매트, 혼합필터	
· 새만금 지구 방조제 (준끝막이 및 끝막이 구간)	필터매트, 자갈층, 율석층	
· 군·장 공단서측호안공	혼합필터	
· 구봉 지구 방조제	필터매트, 자갈층, 율석층	

• 방조제별로 필터매트, 모래층, 자갈층, 율석층, 혼합 필터층 등 필터층 계획이 상이함.

3.2 필터재의 입도 곡선 및 입경

각 방조제의 필터 재료 입도 곡선 및 입경 추정 내용은 자료 조사의 어려움으로 전반적 분석은 불가능하나 자료 입수가 가능한 몇 개의 것을 검토한 바 그 추정 내용이 불분명하거나 필터이론에 부합되지 않은 점이 있음.

3.3 필터층의 두께

· 아산 방조제	0.8	1.0	1.5	-
· 남양 방조제	0.8	1.0	1.5	-
· 삼교천 방조제	0.5	1.0	1.0	-
· 영산강 하구둑	-	1.0	1.0	-
· 금강 하구둑	-	1.0	1.0	-
· 해남 지구 방조제	-	-	-	1.0
· 시화 방조제	-	-	-	1.5
· 새만금 지구 방조제 (일반 구간)	-	-	-	2.0
· 새만금 지구 방조제 (준끝막이 및 끝막이 구간)	-	1.5	1.5	-
· 군·장 공단서측호안공	-	-	-	0.5
· 구봉 지구 방조제	-	0.5	0.7	-

• 아산 및 남양 방조제는 대조 평균 만조위와 평균 만조위의 중간 표고에서의 나비로, 삼교 방조제는 그에서의 두께로 표시되어 있음. 군·장 국가공단 서측 호안공은 사석제 독마루에서의 나비이고 구봉 지구 방조제는 사석제 독마루에서의 두께임. 기타 방조제는 대조 평균 만조위에서의 나비로 표시되는 등 두께 및 두께 표시 방법이 상이함.

3.4 필터층의 비탈 경사

· 아산 방조제	1:2.0	1:1.8	1:1.5	-
· 남양 방조제	1:2.0	1:1.8	1:1.5	-
· 삼교천 방조제	1:1.6	1:1.4	1:1.2	-
· 영산강 하구둑	-	1:1.8	1:1.5	-
· 금강 하구둑	-	1:1.8	1:1.5	-
· 해남 지구 방조제	-	-	-	1:1.8
· 시화 방조제	-	-	-	1:1.2
· 새만금 지구 방조제 (일반 구간)	-	-	-	1:1.3
· 새만금 지구 방조제 (준끝막이 및 끝막이 구간)	-	1:1.5	1:1.2	-
· 군·장 공단서측호안공	-	-	-	1:1.7
· 구봉 지구 방조제	-	1:1.5	1:1.2	-

• 방조제별로 각종 필터층의 비탈 경사가 상이하나 비탈 경사 결정의 이론적 근거가 불확실함.

4. 방조제 필터의 계획·설계

방조제 필터의 계획·설계는 사석재와 성토재 사이에 설치할 모래, 자갈, 율석층 재료의 입도 곡선을 추정하여 필터 재료의 입경을 산정하고 각 층의 두께와 비탈 기울기를 결정하기 위하여 실시된다.

따라서 본고에서는 군·장 국가공업 단지 남측 도류제(주:순수 도류제 기능 외에 공단 조성으로 방조제 기능도 가지게 됨)의 배면을 현지 준설 해사로 성토하는 경우를 대상으로 하여 필터재의 입도 곡선을 추정하고 입경을 산정한 다음 USBR 방식과 화란 Delft University 방

식으로 이를 검증하여 필요로 하는 입도 곡선과 입경을 확정하고, 각 필터층의 두께와 비탈 기울기를 결정하는 실사례를 통하여 방조제의 필터 계획·설계 기법을 정립하여 본다.

4.1 조건

사석재 : $V=0.0001\sim 0.03m^3$

성토재 : 간척지 토사

$$D_{15}=0.037mm$$

$$D_{50}=0.069mm$$

$$D_{85}=0.169mm$$

필터재 : 도류제 설치 지점의 인근 석산에서 발파에 의하여 생산된 균질이고 모난 입자의 재료

조건 I : 성토재는 조수나 파력이 파복공 또는 사석재에 접할 때 일어나는 흡출 작용에 유출되지 않는 입자의 구조가 되어야 함

$$\text{즉, } I_{(a)} : \frac{D_{15}F(\text{상층})}{D_{85}B(\text{하층})} \leq 5$$

$$I_{(b)} : \frac{D_{50}F(\text{상층})}{D_{50}B(\text{하층})} = a$$

a의 값

		비고
균질이고 둥근입자(자갈 등)	5~10	미 개척국
균질이고 모난 입자(쇄석)	10~30	시험치
양호한 입도	12~58	

조건 II : 필터재는 조수의 수위와 파동에 의해 변화되는 수압이 필터재 안에 잘 침투되면서 소멸되므로써 필터 층이 지나친 압력을 받지 않도록 그 투수성이 성토재의 투수성보다 커야 원칙이나 최소

한 같아야 함.

$$\text{즉, } II_{(a)} : \frac{D_{15}F(\text{상층})}{D_{15}B(\text{하층})} = b$$

$$II_{(b)} : D_{85}F(\text{상층}) > 0.75mm$$

b의 값

		비고
균질이고 둥근 입자(자갈)	5~10	미 개척국
균질이고 모난 입자(쇄석)	6~20	시험치
양호한 입도	12~40	

조건 III : 필터재와 성토재의 입도 곡선의 모양은 대략 평행이어야 함.

4.2 계획·설계

1) 사석 입경의 산정

$$0.0001m^3 = 0.523d^3 \text{에서 } d = 0.057 \div 0.06 = 60mm$$

$$0.03m^3 = 0.523d^3 \text{에서 } d = 0.385 \div 0.400 = 400mm$$

2) 필터재의 입도 곡선 및 입경 추정

가) 모래층

$$\text{조건 } I_{(a)} : \frac{D_{15}F}{D_{85}B} \leq 5$$

$$D_{15}F \leq 5 * 0.169 = 0.845mm(A\text{점})$$

$$\text{조건 } I_{(b)} : \frac{D_{50}F}{D_{50}B} = 10 \sim 30 \text{로부터}$$

$$D_{50}F = (10 \sim 30) * 0.069$$

$$= 0.69 \sim 2.07mm(B\text{점})$$

$$\text{조건 } II_{(a)} : \frac{D_{15}F}{D_{15}B} = 6 \sim 20 \text{로부터}$$

$$D_{15}F = (6 \sim 20) * 0.037$$

$$= 0.222 \sim 0.74mm(C\text{점})$$

따라서 조건 $I_{(a)}$ 와 $II_{(a)}$ 를 결합하면 $D_{15}F$ 의 한계 입경은 $0.222 \sim 0.74mm$ 이며 $D_{50}F$ 의 한계 입경은 $0.69 \sim 2.07mm$ 임.

또한 $D_{85}F$ 의 한계 입경을 사석층으로부터 구하면

$$\text{조건 II}_{(a)} : \frac{D_{15}F(\text{사석층})}{D_{15}B(\text{자갈층})} = 5 \sim 15 \text{ (미 개척 국 시험치)에 있어서}$$

$$D_{15}F = 80\text{mm} \text{ 이므로}$$

$$D_{15}B = \frac{80}{5 \sim 15} = 5.33 \sim 16\text{mm}$$

여기서 모래층과 자갈층의 입도를 검토하면

$$\frac{D_{15}F(\text{자갈층})}{D_{85}B(\text{모래층})} \leq 5 \text{ 이므로}$$

$$D_{85}B(\text{모래층}) \geq \frac{5.33 \sim 16.0}{5}$$

$$= 1.06 \sim 3.20\text{mm}(\text{D점})$$

위 계산 결과로 정하여진 A, B, C, D 점이 모래층 필터 입경의 분포 한계이므로 이 범위 내에서 성토재 입도 곡선에 대략 평행선을 그려 <그림1>의 모래층 필터 입도 곡선을 추정함.

입도 곡선으로부터 $D_{15}=0.48\text{mm}$, $D_{50}=1.20\text{mm}$, $D_{85}=2.5\text{mm}$ 를 구함.

나) 자갈층

$$\text{조건 I}_{(a)} : \frac{D_{15}F}{D_{85}B} \leq 5 \text{로부터}$$

$$D_{15}F \leq 5 * 2.5 = 12.5\text{mm}(\text{E점})$$

$$\text{조건 I}_{(b)} : \frac{D_{50}F}{D_{50}B} = 10 \sim 30 \text{으로부터}$$

$$D_{50}F = (10 \sim 30) * 1.20$$

$$= 12 \sim 36\text{mm}(\text{F점})$$

$$\text{조건 II}_{(a)} : \frac{D_{15}F}{D_{15}B} = 6 \sim 20 \text{로부터}$$

$$D_{15}F = (6 \sim 20) * 0.48$$

$$= 2.88 \sim 9.6\text{mm}(\text{G점})$$

따라서 조건 I_(a)와 II_(a)를 결합하면 $D_{15}F$ 의 한계 입경은 2.88~9.6mm이며 $D_{50}F$ 의 한계 입경은 12~36mm임.

또한, $D_{85}F$ 의 최소 한계 입경을 사석층으로부터 구하면

$$\text{조건 I}_{(a)} : \frac{D_{15}F(\text{사석})}{D_{15}B(\text{자갈})} \leq 5 \text{에 있어서}$$

$$D_{15}F = 80\text{mm} \text{ 이므로}$$

$$D_{85}B \geq \frac{80}{5} = 16\text{mm}(\text{H점})$$

위 계산 결과로 정하여진 E, F, G, H점이 자갈층 필터 입경의 분포 한계이므로 이 범위 내에서 모래층 입도 곡선에 거의 평행선을 그려 <그림1>의 자갈층 필터 입도 곡선을 추정함.

입도 곡선으로부터 $D_{15}=7.0\text{mm}$, $D_{50}=13\text{mm}$, $D_{85}=28\text{mm}$ 를 구함.

다) 울석층

$$\text{조건 I}_{(a)} : \frac{D_{15}F}{D_{85}B} \leq 5 \text{로부터}$$

$$D_{15}F \leq 5 * 28 = 140\text{mm}(\text{I점})$$

$$\text{조건 I}_{(b)} : \frac{D_{50}F}{D_{50}B} = 10 \sim 30$$

$$D_{50}F = (10 \sim 30) * 13$$

$$= 130 \sim 390\text{mm}(\text{J점})$$

$$\text{조건 II}_{(a)} : \frac{D_{15}F}{D_{15}B} = 6 \sim 20$$

$$D_{15}F = (6 \sim 20) * 7.0$$

$$= 42 \sim 140\text{mm}(\text{K점})$$

따라서 조건 I_(a)와 II_(a)를 결합하면 $D_{15}F$ 의 한계 입경은 42~140mm이며 $D_{50}F$ 의 한계 입경은 130~390mm임.

위 계산 결과로 정하여진 I, J, K점이 울석층 필터 입경의 분포 한계이므로 이 범위 내에서 자갈층 입도 곡선에 거의 평행선을 그려 <그림1>의 자갈층 필터 입도 곡선을 추정함.

입도 곡선으로부터 $D_{15}=60\text{mm}$, $D_{50}=120\text{mm}$, $D_{85}=250\text{mm}$ 를 구함.

그러므로 본 도류제에는 울석층, 자갈층, 모래층 필터를 설치하되 $D=0.4 \sim 8.0\text{mm}$ 의

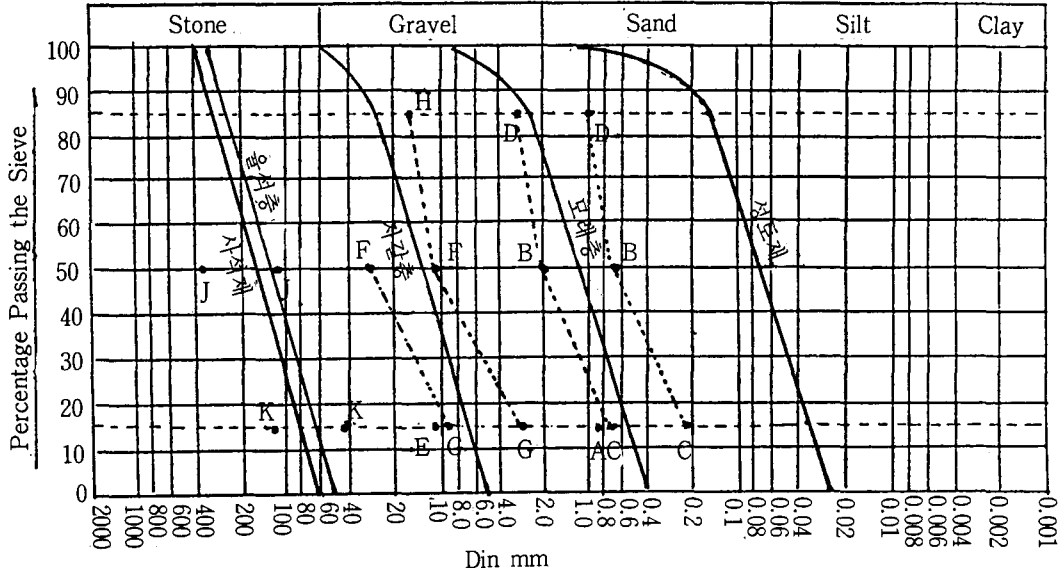


그림1. Filter 재료 입도 곡선 추정도

모래층 필터는 Filter Mat로 대체하고 자갈층 필터는 $D=0.5\sim 60mm$ 의 자갈로, 울석층 필터는 $D=50\sim 300mm$ 의 조약돌로 설치·계획함

3) 추정 필터재 입도 곡선 및 입경의 검토

가) 미국 개척국 방식(Design of Small Dam)

① 조건

사석재 : $0.03m^3$ 이하($60\sim 400mm$)

성토재 : $D_{15}=0.037mm$

$D_{50}=0.069mm$

$D_{85}=0.169mm$

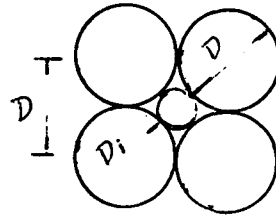
필터재 : 조건 I : $\frac{D_{15}F}{D_{15}B} > 5$

조건 II : $\frac{D_{15}F}{D_{15}B} < 40$

조건 III : $\frac{D_{15}F}{D_{85}B} \leq 5$

② 검토

㉠ 사석공극(Openings of Dumped Stone)



성글게 덤프된 경우

$D_1=D/2.5$ 에 있어서

$D_{85}=300mm$ 이므로

$D_1=300/2.5=120mm$

㉡ 모래층

조건 I : $\frac{D_{15}F}{D_{15}B} > 5$ 에 의하여

$D_{15}F > 5 * 0.037 = 0.185mm$

조건 II : $\frac{D_{15}F}{D_{15}B} < 40$ 에 의하여

$D_{15}F < 40 * 0.037 = 1.48mm$

조건 III : $\frac{D_{15}F}{D_{85}B} \leq 5$ 에 의하여

$D_{15}F \leq 5 * 0.169 = 0.845mm$

조건 I, II, III을 결합하면 $D_{15}F$ 의 한계 입경은 0.185~1.48mm임.

이 범위 내에서 $D_{15}=0.48$ 를 통과하여 성토재 입도 곡선에 대략 평행이 되는 <그림2>와 같이 그려 $D_{85}F=2.5mm$ 임.

여기서 $D_{85}=2.5mm < 120mm$ 이므로 제2의 자갈 필터층이 필요함.

㉔ 자갈층

조건 I : $\frac{D_{15}F}{D_{15}B} > 5$ 에 의하여

$D_{15}F > 5 * 0.48 = 2.4mm$

조건 II : $\frac{D_{15}F}{D_{15}B} < 40$ 에 의하여

$D_{15}F < 40 * 0.48 = 19.2mm$

조건 III : $\frac{D_{15}F}{D_{85}B} \leq 5$ 에 의하여

$D_{15}F \leq 5 * 2.5 = 12.5mm$

조건 I, II, III을 결합하면 $D_{15}F$ 의 한계 입경은 2.4~19.2mm임.

이 범위 내에서 $D_{15}=7.0$ 을 통과하여 모래층 입도 곡선에 거의 평행선을 <그림2>와 같이 그려 $D_{85}F$ 를 산출하면 $D_{85}F=28mm$ 임.

여기서 $D_{85}=28mm < 120mm$ 이므로 제3의 율석 필터층이 필요함.

㉕ 율석층

조건 I : $\frac{D_{15}F}{D_{15}B} > 5$ 에 의하여

$D_{15}F > 5 * 7.0 = 35mm$

조건 II : $\frac{D_{15}F}{D_{15}B} < 40$ 에 의하여

$D_{15}F < 40 * 7.0 = 280mm$

조건 III : $\frac{D_{15}F}{D_{85}B} \leq 5$ 에 의하여

$D_{15}F \leq 5 * 28 = 140mm$

조건 I, II, III을 결합하면 $D_{15}F$ 의 한계 입경은 35~280mm임.

이 범위 내에서 $D_{15}=60$ 을 통과하여 자

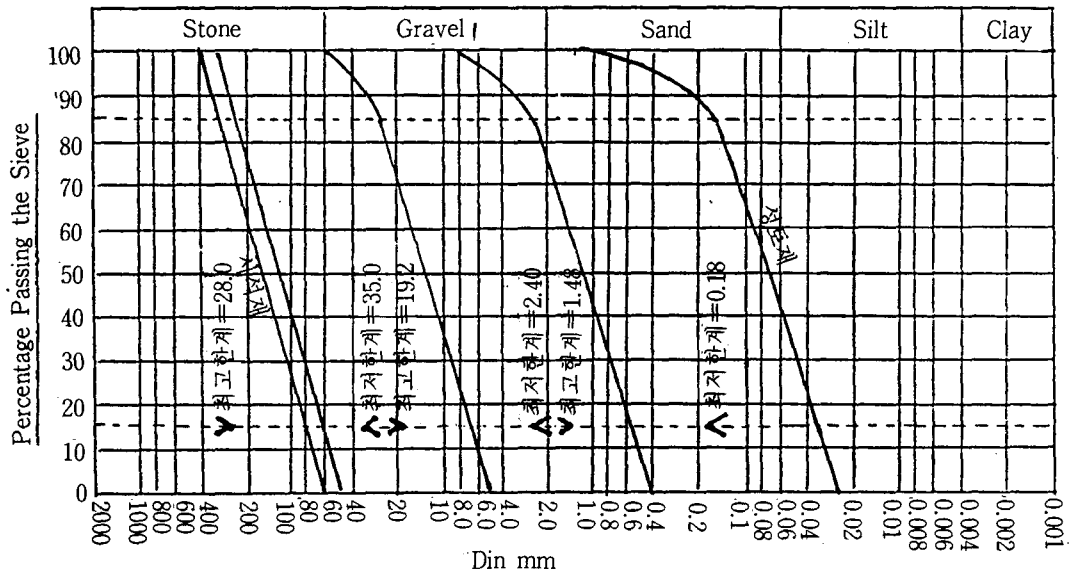


그림2. Filter 재료 입도 곡선 추정도

갈층 입도 곡선에 거의 평행선을 <그림2>와 같이 그려 $D_{85}F$ 를 산출하면 $D_{85}F=255$ mm임.

여기서 $D_{85}=250\text{mm} > 120\text{mm}$ 이므로 만족됨.

이상에서 검토한 바와 같이 모래층, 자갈층, 울석층의 필터재 입도 곡선이 각각 그림1에서 추정된 입도 곡선과 일치하게 설정될 수 있으므로 2)항에서 설계된 필터재의 입도 곡선과 입경은 적절함.

나) 화란 Delft University of Technology 방식(Coastal Protection Manual)

① 조건

사석재 : 0.03m^3 이하(60~400mm)

성토재 : $D_{15}=0.037\text{mm}$

$D_{50}=0.069\text{mm}$

$D_{85}=0.169\text{mm}$

필터재 : 조건 I ; Piping에 대한 안전

$$\frac{D_{15}F}{D_{85}B} < 4\sim 5$$

조건 II : 투수성의 적절

$$\frac{D_{15}F}{D_{15}B} > 4\sim 5$$

조건 III : 재료 분리 방지

$$\frac{D_{50}F}{D_{50}B} < 20\sim 25$$

조건 IV : 필터재 내부 안전

$$\frac{D_{50}}{D_{10}} < 10 \text{ 불이동}$$

$$\frac{D_{50}}{D_{10}} > 20 \text{ 이동}$$

② 검토

㉠ 모래층

조건 I : $\frac{D_{15}F}{D_{85}B} < 4\sim 5$ 에 의하여

$$D_{15}F < (4\sim 5) * 0.169$$

$$=0.676\sim 0.845\text{mm}$$

조건 II : $\frac{D_{15}F}{D_{15}B} > 4\sim 5$ 에 의하여

$$D_{15}F > (4\sim 5) * 0.037$$

$$=0.148\sim 0.185\text{mm}$$

조건 I, II를 결합하면 D_{15} 의 한계 입경은 $0.14\sim 0.84\text{mm}$ (A점)

조건 III : $\frac{D_{50}F}{D_{50}B} < 20\sim 25$ 에 의하여

$$D_{50}F < (20\sim 25) * 0.069 = 1.38\sim$$

$$1.72\text{mm} \text{ (B점)}$$

위 계산 결과로 정하여진 A, B점이 모래층 필터 입경의 분포 한계이므로 이 범위 내에서 $D_{15}=0.48$ 을 통과하여 성토재 입도 곡선에 대략 평행이 되는 선을 그려 <그림3>의 모래층 필터 입도 곡선을 추정함.

조건 IV : $\frac{D_{50}F}{D_{10}F} = \frac{1.20}{0.48} = 2.5 < 10$, OK

㉡ 자갈층

조건 I : $\frac{D_{15}F}{D_{85}B} < 4\sim 5$ 에 의하여

$$D_{15}F < (4\sim 5) * 2.5 = 10\sim 12.5\text{mm}$$

조건 II : $\frac{D_{15}F}{D_{15}B} > 4\sim 5$ 에 의하여

$$D_{15}F > (4\sim 5) * 0.48$$

$$=1.92\sim 2.4\text{mm}$$

조건 I, II를 결합하면 D_{15} 의 한계 입경은 $1.92\sim 2.4\text{mm}$ (C점)

조건 III : $\frac{D_{50}F}{D_{50}B} < 20\sim 25$ 에 의하여

$$D_{50}F < (20\sim 25) * 1.20 = 24\sim$$

$$30\text{mm} \text{ (D점)}$$

위 계산 결과로 정하여진 C, D점이 모래층 필터 입경의 분포 한계이므로 이 범위 내에서 $D_{15}=7.0$ 을 통과하여 모래층 입도

곡선에 대략 평행이 되는 선을 그려 <그림 3>의 자갈층 필터 입도곡선을 추정함.

$$\text{조건 IV} : \frac{D_{50}F}{D_{10}F} = \frac{13}{6.2} = 2.09 < 10, \text{ OK}$$

㉔ 울석층

$$\text{조건 I} : \frac{D_{15}F}{D_{85}B} < 4\sim 5 \text{에 의하여}$$

$$D_{15}F < (4\sim 5) * 28 = 112\sim 140\text{mm}$$

$$\text{조건 II} : \frac{D_{15}F}{D_{15}B} > 4\sim 5 \text{에 의하여}$$

$$D_{15}F > (4\sim 5) * 7.0 \\ = 28\sim 35\text{mm}$$

조건 I, II를 결합하면 $D_{15}F$ 의 한계 입

경은 28~140mm (E점)

$$\text{조건 III} : \frac{D_{50}F}{D_{50}B} < 20\sim 25 \text{에 의하여}$$

$$D_{50}F < (20\sim 25) * 13 = 260\sim 325\text{mm}(F\text{점})$$

위 계산 결과로 정하여진 E, F점이 모래층 필터 입경의 분포 한계이므로 이 범위 내에서 $D_{15}=60$ 을 통과하여 자갈층 필터재 입도 곡선에 대략 평행이 되는 선을 그려 <그림3>의 울석층 입도 곡선을 추정함.

$$\text{조건 IV} : \frac{D_{50}F}{D_{10}F} = \frac{120}{57} = 2.10 < 10, \text{ OK}$$

이상에서 검토한 바와 같이 모래층, 자

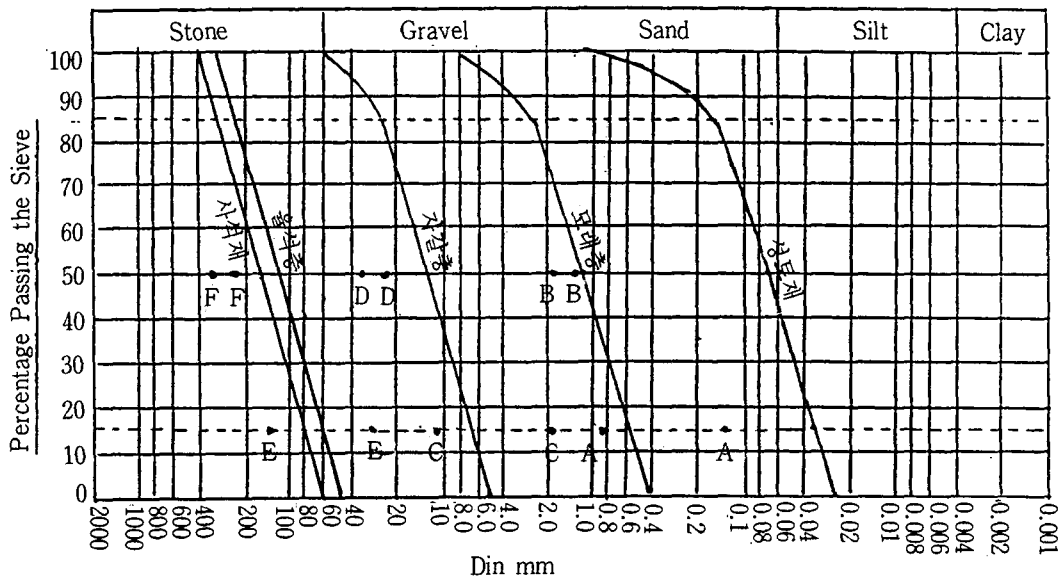


그림3. Filter 재료 입도 곡선 추정도

갈층, 울석층의 필터재 입도 곡선이 각각 그림1에서 추정된 입도 곡선과 일치하게 설정될 수 있으므로 2)항에서 설계된 필터재의 입도 곡선과 입경은 적절함.

4) 필터층의 두께와 경사

가) 필터층의 두께

일반적으로 경사형 필터층의 최소 두께는 2.4~3.0m로 하고, 가능한 한 3.6~4.2m로 하도록 권장하고 있으므로 조수의 흡출 작용이 강하게 발생하는 대조 평균 만조위 EL 3.017m를 기준 표고로 하여 Filter Mat로 대체된 모래층의 두께를 1.0m로 간주하고 자갈층과 울석층의 두께

를 각각 0.80m, 1.20m가 되게 함으로써 총두께를 3.0m로 결정함. 따라서 필터의 독마루에서의 수평 너비는 <그림4>와 같이 울석층은 1.10m 그리고 자갈층은 0.7m임.

필터층의 비탈 경사는 필터재 공급원인 채석장 석재의 압축 강도를 감안 덤프하여 포설될 때의 안식각과 시공성 등을 고려하여 <그림4>와 같이 울석층은 1:1.2 자갈층은 1:1.5로 계획함.

나) 필터층의 비탈 경사

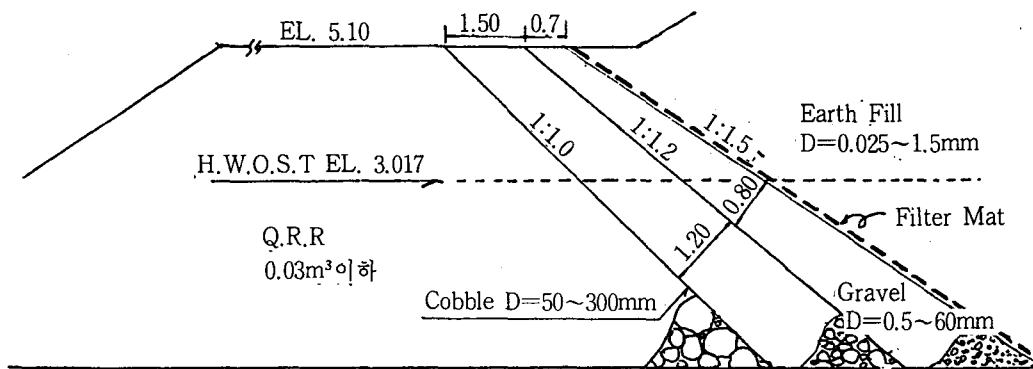


그림4. Filter 계획 단면도

5. 맺음말

우리나라는 완만한 경사와 큰 간만 차이로 인해 잘 발달되어진 간석지, 굴곡이 심한 리아스(Rias)식 해안, 흙·모래·돌 등 풍부한 재료가 갖추어진 천혜의 간척 자원을 가지고 있는 반면 내륙 지향적 국토 개발은 그 한계성이 예견되고 있는데다가 인구의 증가와 산업의 발달로 농업 용지 일반 산업 용지 등의 각종 토지는 물론, 토지의 이용·개발 가능성을 좌우하는 물에 대한 수요는 날로 증가되고 있어 이의 해결책으로써의 복식 간척 사업은 그 시행이 불가피한 실정이다.

그러므로 우리 토목 기술사들은 해면 간척 사업을 그의 역기능 때문에 순기능마저 정부가 계속 외면하게 버려두는 역사적인 우를 범하지 말아야 할 것이며, 정부도 이제는 정치 논리가 행정을 지배하고 행정 편의가 기술을 지배하는 풍

토는 무한 경쟁 시대의 국가 발전에 아무런 도움이 안된다고 보는 해안을 가지고 과학 기술인들의 국가 정책·예산 수립 등에의 참여를 적극 수용하여야 할 것이다.

이러한 인식의 전환을 토대로 하여 우리 토목 기술사들이 서둘러 해야 할 일이야 말로 지금의 간척 사업 위기가 곧 간척 사업의 기회가 될 수 있도록 더 한층 미개발된 기술의 개발과 미정립된 기술의 정립에 온갖 지혜를 모으는 일이라 하겠다.

•참고 문헌

1. 『농업수리조구조학』, 민병섭 외 3인, 1962
2. 『간척공학』, 임영춘 외 2인, 1982
3. 『농지개발사업계획설계기준(해면간척편)』, 농림부, 1971
4. 『농지개발사업계획설계기준(필댐편)』, 농림부, 1982

-
5. 『군·장 국가공단개발사업실시설계보고서』, 한국토지개발공사, 1993
 6. 『아산방조제 외 7개 방조제 설계도서』, 농어촌진흥공사, 1967~1994
 7. 『새만금지구기본조사보고서』, 농림수산부, 농어촌진흥공사, 1988
 8. 『Coastal Protection Manual』, Krytian W. Pilarczyk, Delft University of Technology, Netherlands, 1990
 9. 『Shore Protection Manual』, U.S Army Corps of Engineers, 1984
 10. 『Design of Small Dam』, Floyd E. Dominy, U.S.B.R, 1961