모래자갈과 누수성 토질을 기반으로 하는 용수로의 누수방지에 대한 연구

A Study on the Leakage Interception Work in the Irrigation Canal Founding on the Sandy Gravel or the Porous Soil.

姜 信 業 金 成 完
Shin Up Kang Seong Wan Kim

Summary

The experiment was carried out in order to improve the leakage stopping work in the irrigation canal founding on the porous soil. But the experiment had many problems to be studied more owing to the insufficient time and facilities.

The results obtained are summarized as follows;

1. Polyethylene film is estimated not to make strength decrease owing to buring in the subsoil, but to make owing to the sunlight.

2. Coated nylon shows the tendency to deteriorate strength when it is buried in the earth or exposed to the sun for long time, but leakage is all but impermeability generally.

3. Leakage loss rates for one hour show some differences in the canal to be full with water in accordance with operating methods, that is, the clay lining section is 12.6%, the coated nylon lining section is 1.7%, the polyethylene film lining section is 1.3%, respectively.

4. Leakage quantities per wetted perimeter unit area show 3.556cc/cm²/hr. in the clay lining section, 1.574cc/cm²/hr. in the coated nylon section, 0.695 cc/cm²/hr. in the polyethylene film lining section, respectively.

5. When the construction fund make the clay lining section as a standard, the polyethylene film section is 92.1%, the coated nylon section is 174.2%, respectively.

But, the unit cost of execution may be low when the polyethylene film and the coated nylon will enable to mass-produce for the purpose of execution.

筆者：忠南大學校 農科大學

Ⅰ. 서 론

농업 용수와 수력 발전 및 공업 용수를 도수할 목적으로 사용되고 있는 수로는 유속에 의한 패임, 통수량, 지반의 투수성 공사비 등의 제조건을 고려하여 Lining 수로를 시공하는 경우가 많다.

특히 전천후 농업을 지향하는 현실에서 대부분의 용수로가 누수에 의한 손실이 많음은 주지의 사실이다. 이와같이 수로의 용수 손실을 방지하고 효과적인 용수계획을 수립하기 위하여 concrete lining, soil cement lining, asphalt concrete lining, concrete block lining, plastic film 및 합성 gum lining, earth lining 등에 대하여 지금까지 많은 연구가 선진 제국에서 수행 되어왔다.

lining의 주목적은 누수 손실의 방지 비탈면의 침식방지 및 단면 축소를 기하여 이들 목적을 달성하기 위한 필요한 최소한도의 두께로서 공사비를 절약 하여야 하며 이와같은 목적으로 사용되는 lining은 경표면 lining, 매설피복 lining, 그리고 earth lining등이 사용되고 있다.

본연구에서는 매설피복 lining에 속하는 plastic film lining과 coated nylon lining을 투수성의 큰 모래자갈층 지반의 수로에 설치하여 누수량을 조사하고 earth lining을 시공한 경우와 비교 하였다.

이 plastic film lining에 관한 연구는 1949년 이래 미국의 개척국 연구소에서 15개의 제조 회사로부터 assorted plastic과 plastic으로 되어있는 재료 60종류를 구입하여 시험한 결과가 보고 되어있다[1][2]

그후 미개척국에서 lining 재료로서 사용하기 시작한 합성 gum은 여러 사람이 수로 및 저수지의 lining에 사용하는 것을 연구하여 아주 좋은 결과를 얻게 되었다[3].

1953년에 미국의 개척국에 의하여 매설피막 lining으로서 montana의 Huntley project에서 수로의 짧은 구

획에 Nylon천 (Nylon fabric)에 Coating한 Noprene (일종의 합성고무)를 설치한 예가 있다.

또 미 국 농업 연구소 (Agri. Research Service)와 United state university 에서는 개척국의 염가 수로 lining 계획에 협동하여 수로 및 호소의 lining에 plastic film을 사용 하는데 대한 시험실 및 현장 시험을 하였다[4][3] 이들 농업 연구소, 개척국 및 United주립 대학에서의 실내 시험 결과와 현장 시험에서의 연구 결과는 plastic film은 박테리아의 침식에 대한 저항성이 아주크고 또 10년간 매설된 흙에서 노출된 plastic이 그의 인장강도와 flexibility에 아무런 영향을 받지 않았다고 하였다[2]

그후 1961년에 Oklahoma의 Altus Project와 New mexico의 Tucumcari Project에서 매설 재료로서 10mil 두께(1 mil=1/1,000 inch)의 Poly vinyl과 polyethylene 그리고 30mil 두께의 butye rubber가 사용 되었다[2] 이와같이 plastic film과 coated nylon이 Lining 재료로서 사용되는 이점은 중량이 가볍고 또 염가로서 구입 할 수 있으며 운반이 편리한 점이다. 더욱이 현재는 비약적인 과학의 발전으로 넓은 폭으로서 무한히 긴 plastic film을 제조할 수 있으므로 lining 재료로서의 사용은 더욱 큰 전망이 기대되며 이에 관한 연구는 귀중한 수자원의 누수 방지에 공헌할 수 있음을 확신 하는 바이다.

Ⅱ. 연구내용

1. 사용재료

가. Polyethylene Film Lining구

본 시험에 사용한 Polyethylene Film을 두께 0.06 mm의 것으로 ASTM D256~56[6]에 의하여 충격 강도 시험을 한 결과 7.2kg—cm 이었고 JIS—Z—208[7]에 의하여 투수도 시험을 한결과 10.1g/m²/24hr 이었다.

나. Coted Nylon Lining 구

본 시험에 사용한 Coated Nylon은 경사밀도(經糸密度) 105본/inch 위사밀도 (緯糸密度) 91본/inch로서 섬도는 70 Denier 이고 불통기성인 Taffeta 지이며 Acryl Gum으로 방수 가공한 것이다. 또 경사 방향의 강도는 평균 99.8(Lb)이고 위사 방향의 강도는 92.3 (Lb) 이었다.

다. 점토 Lining 구

점토 Lining에 사용된 시료의 입도분석 결과 Clay 22%, Silt 35%, Sand 43%로서 점토 Loam에 속하며 물리적 및 역학적 성질을 시험한 결과 표—1과 같다.

〈표—1〉 **점토 Lining 재료의 물리적 및 역학적 성질**

비 중	최대건조밀도 (g/cm³)	최적함수비 (%)	투수계수 (cm/sec)	액성한계 (%)	소성한계 (%)	소성지수 (%)	군지수	#200체 통과율 (%)	균등계수	통일분류	미공도국분류
2.73	1.675	19.4	2.808×10^{-7}	32.8	20.5	12.3	9.7	62	56	CL	A—6

2. 시험방법

본시험은 대전시 태평동 모래자갈층 지반을 택하여 그림 1과 같은 단면의 수로를 설치하고 수로의 길이는 모두 5m로 하였다.

시험구는 무 Lining구 점토 Lining구 Polyethylene Film Lining구 (3종) Coated Nylon구로 하여 주수후 경과 시간에 따르는 수심 감소량을 측정 하였다.

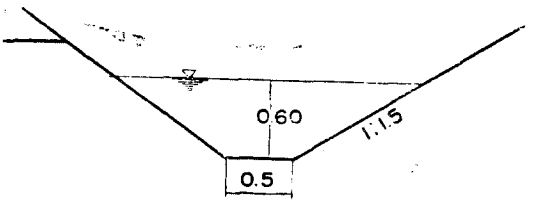
〈표—2〉 **현지반의 성질**

비중	입도분석 No.4 체이상	입도분석 No.4~No.40 체 통과율	입도분석 No.40 체 통과율	균등계수	유효경	투수계수
2.66	43%	45%	12%	166	mm 0.36	3.5×10^{-3} cm/sec

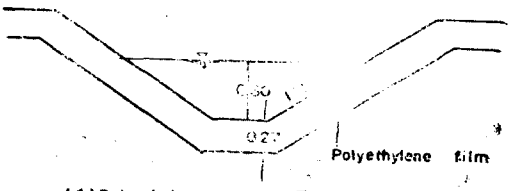
그림—1에 표시한 바와같이 수로의 비탈면 기울기는 모두 1 : 1.5로 하고 Polyethylene Film Lining구는 비탈면의 경사에 의한 Sliding을 고려하여 Polyethylene Film의 매설 방법을 그림 1 (d) (e) (f)와 같이 구분하여 설치 하였다.

그림 1 (b)에서 점토 Lining의 두께는 30cm로 하였고[5][13] 실내다짐 시험에서 얻은 최대건조 밀도의 90% 이상으로 되도록 충분히 다졌다. 그림 1 (C)는 C= 25.4+d/21[5][2]를 사용하여 27cm로 피복 하였다.

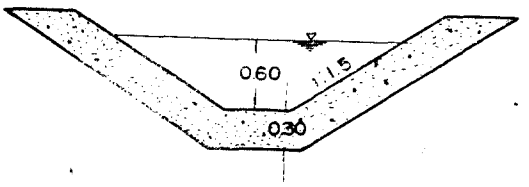
그림 1 (e)는 Sliding을 방지하기 위하여 비탈면을 계단상으로 설차하고 Polyethylene Film을 매설한후 1 1 : 1.5 구배로 성토 하였다. 그림 1 (c) (f)는 사면의 Sliding을 방지하기 위하여 Polyethylene Film을 1 : 0.3으로 매설하고 사면을 1 : 1.5로 성토 하였다.



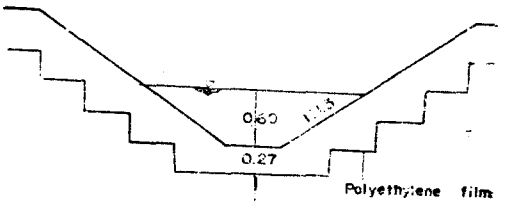
(a) 무 Lining (NO. 1)



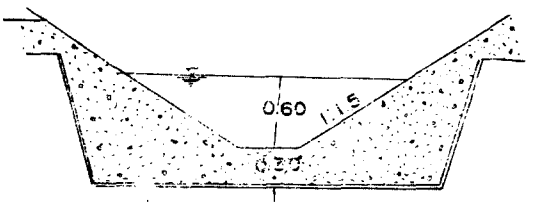
(d) Polyethylene Lining 구 (NO 4-1)



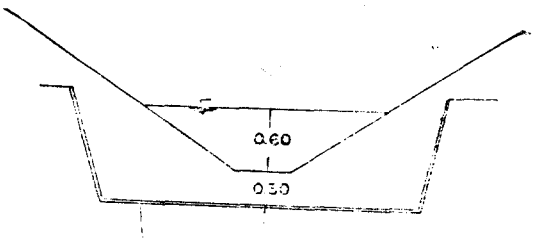
(b) 점 토 Lining 구 (NO.2)



(e) Polyethylene Lining 구 (NO 4-2)



(c) Coated nylon Lining 구 (NO.3)



(f) Polyethylene Lining 구 (NO 4-3)

그림 1 수 로

그림 2. 수로시공 현황

그림 3. 수로내의 수심측정과

Ⅲ. 시험결과

1. 재료의 내구성

가. Polyethylene Film

0.06mm의 Polyethylene Film을 지중에 6개월 매설 저장 하였을때 강도및 투습도 시험을 각각 5회 측정한 평균치를 나타내면 표 3과 같다.

〈표—3〉 Polyethylene Film의 내구성 시험

충 격 강 도 시 험		투 습 도 시 험	
원시료	6개월간 매설한 시료	원시료	6개월간 매설한 시료
7.2 kg-cm	7.26kg-cm	10.1 g/m²/24hr	26.5g/m²/24hr

나. Coated Nylon

방수 Coating을 한 Nylon을 6개월간 지중에 매설하였을때의 강도 관계를 20°C 65% RH 표준 상태에서 직물 강신도 시험기에 의하여 Grab Method[8] 로 측정한 결과 표 4와 같다.

〈표 4〉 Coated Nylon의 내구성 시험

원 시 료		6개월간지중에 매설한시료	
경 사 방 향 (Lb)	위 사 방 향 (Lb)	경 사 방 향 (Lb)	위 사 방 향 (Lb)
94.0	91.5	94.0	88.0
98.0	91.5	100.0	87.5
96.5	94.0	101.0	81.0
100.0	91.5	89.0	87.0
110.5	93.0	93.0	84.0
평균 99.8	92.3	95.5	85.5

수압에 따라 Coated nylon의 투수성 관계를 조사하기 위하여 직경 2 inch Pipe에 수심을 1m, 2m, 3m로 변화 시키면서 투수량을 측정한 결과의 평균치를 표시하면 표 5와 같다.

〈표 5〉 Coated nylon의 투수시험

수 심 (m)	1	2	3
투수량 (CC/cm²/hr)	0.0821	0.1514	0.2006

2. 감수심 측정

Lining을 하지 않은 수로에서 경과 시간에 따르는 감수심을 측정하기 위하여 0.3m³/min의 양수기로 양수한 결과 수심이 12.5cm 이상은 저수할 수 없었으며 이에 대한 감수심 측정 결과는 표 6과 같다.

〈표 6〉 무 Lining구의 경과 시간에 따르는 감수심 측정치

경 과 시 간 (분)	감 수 심 (cm)
0	12.5
1	10.2
2	8.0
3	6.2
4	4.2
5	2.7
6	0

〈표 7〉 경과 시간에 따르는 감수심 측정치

경 과 시 간 (hr)	감 수 심 (cm)			경 과 시 간 (hr)	감 수 심 (cm)		
	점토 Lining구	Coated nylon Lining구	Polyethyiene Lining구		점토 Lining구	Coated nylon Lining구	Polyethyiene Lining구
0	60.0	60.0	60.0	16	17.5	48.8	51.8
1	56.0	58.2	59.2	17	15.5	48.3	51.4
2	52.8	57.2	58.6	18	13.4	47.8	51.0
3	50.3	56.2	58.0	19	11.3	47.2	50.5
4	47.7	55.3	57.3	20	9.6	46.8	50.1
5	45.3	54.8	56.7	25	2.7	44.8	48.0
6	43.0	54.2	56.2	30		43.0	46.3
7	40.2	53.7	55.7	35		41.5	44.8
8	37.9	53.1	55.2	40		40.0	43.8
9	35.1	52.6	54.7	45		38.5	42.4
10	32.6	52.0	54.2	50		37.0	41.2
11	30.0	51.5	53.9	60		34.6	38.6
12	27.5	51.0	53.4	70		32.1	36.3
13	25.0	50.5	53.0	80		29.6	34.6
14	22.0	49.9	52.6	90		27.0	32.4
15	19.9	49.4	52.2				

점토, Coated nylon 및 Polyetylehne Film으로 Lining한 수로에 저수후 경과 시간에 따르는 감수심을 각구 4회씩 측정하여 평균치를 구한 결과를 요약하면 표 7과 같고 반대수 용지에 도시하면 그림 2와 같다.

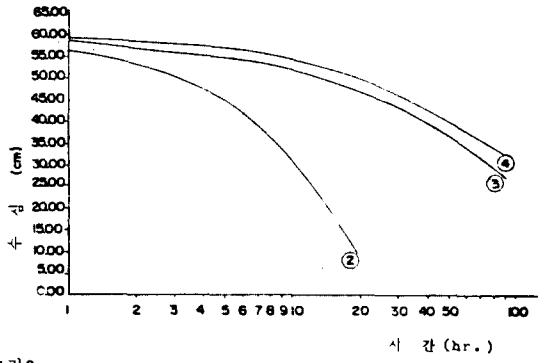


그림2. 경과시간에 따르는 감수심 측정치

Ⅳ. 고 찰

1. 재료의 내구성

가. Polyethylene Film

표 3에서 보는바와 같이 0.06mm 두께의 Polyethylene Film을 지중에 6개월간 매설하여 충격강도 시험을 한 결과는 오히려 지중에 매설 하였던 것이 원시료보다 0.06kg-cm나 큰 강도를 나타냈다.

일반적으로 같은 시료에서도 약 ±0.5kg-cm의 강도 변화가 있는 것으로서 Polyethylene Film을 지중에 매설 하였을때 강도 변화는 없는 것으로 생각할 수 있다[2].

그러나 이 Polyethylene Film이 태양이나 풍화 및 침식에 노출될때는 2~4년이면 그의 강도가 아주 약해진다.

외국에서는 0.0175 및 0.02inch 두께의 Polyethylene Film으로 Lining하고 피복하지 않았을때 3년후 파손된 예가 있다[9]

투습도 시험 결과는 일반적으로 0.06mm두께의 Polyethylene Film이면 7.0~8.0g/m²/24hr가 표준으로 되어 있으나 6개월간 지중에 매설한 것은 26.5g/m²/24hr 이고 원시료는 10.1g/m²/24hr로서 2배 이상의 큰값을 나타내며 모두가 0.06mm Polyethylene Film의 기준을 초과하고 있다.

다만 지중에 매설한 Polyethylene Film을 흙속의 Stocking에 의한 것으로 생각되는 Pin-hole이 많이 생겨서 정확한 시험을 할수가 없었다.

나. Coated nylon

nylon에 방수 Coating을 하여 지중에 매설 하였을 경우의 내구성은 표 2에서 보는 바와같이 6개월간 지중에 저장 방치한 시료가 경, 위 양방향에서 일반적으로 강도가 저하하고 있음을 알수 있다.

즉 경사 방향에서 4.4%, 위사 방향에서 6.6%의 강도 저하를 나타내고 있다. 섬유 화학회에서 연구 발표된 것에 의하면 일광에 장기간 폭사하면 강도가 약간 저하하고 농염산 및 농황산에 의하여 일부 분해를 일으켜 용해 하므로 지중에서 강도가 저하 된다고 한다.

수압의 변화에 따르는 Coated nylon의 투수량을 측정한 결과는 표 5에서 보는 바와같이 수심이 증가함에 따라 증가하는 경향이 있으나 일반적으로 무시할 수 있을 정도의 양으로서 수심 3m미만 에서는 거의 불투수성으로 생각할 수 있다.

2. 누수량

원지반은 3.5×10^{-3}Cm/sec의 투수계수를 갖는 지반으로서 0.3m³/min의 양수기로 12.5Cm이상 저수 할 수 없을 정도의 지반이며 저수 후 6분 이내에 완전히 누수 되었다.

Polyethelene Film은 완전 방수성 이므로 이것으로 Lining하면 이론상의 누수 손실은 없으나 지중에 매설하게 되면 Pinhole이 생기고 또 접속부에서는 인장강도가 약해져서 박리되는 경우가 있으므로 누수가 생긴다.

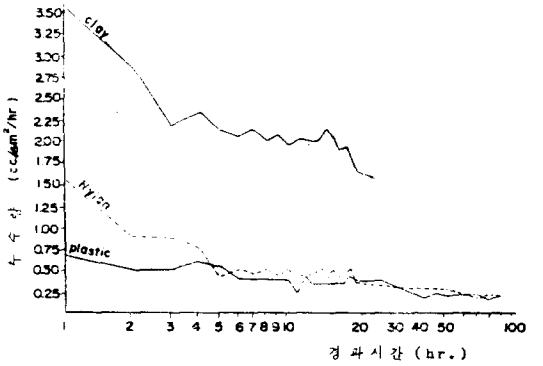
그림 2에서 보는바와 같이 Polyethylene Film과 Coated nylon으로 Lining한 수로에는 감수심의 차가 심하지 않으나 Coated nylon으로 Lining한 시험구에서 감수심이 약간 크게 나타났다.

수심 60cm로 저수하여 30cm의 수심으로 될 때까지누수 되는데 Polyethylen Film Lining에서는 약 100시간, Coated nylon Lining구에서는 80시간 점토Lining구에서는 11시간이 소요 되었다.

수로의 윤변 단위 면적당의 누수량을 구해보면 그림 3과 같다. 즉 저수 직후는 점토 Lining구에서는 3.55 cc/cm²/hr Coated nylon구에서는 1.6cc/cm²/hr Polyethylene Film Lining구에서는 0.7cc/cm²/hr의 누수량을 나타내고 있으며 시간이 경과함에 따라 그의양은 감소하는 경향을 나타내고 있으나 그의 비율은 일반적으로 같다. 즉 점토Lining 구는 Polyethylene과 Coated Nylon Lining구의 4~5배의 누수량을 나타내고 있다.

Coated nylon Lining구에서 처음에 누수량이 많았으나 5시간 경과후부터는 Poplethylene Film Lining구와 큰 차가 나타나지 않았다. Coated nylon 구에서 처음에 누수량이 현저하게 감소되는 원인은 현탁액중의 점토가 nylon의 공극및 접속부의 침공 (바늘자국)을 메우는 것으로 생각된다. 그림 3에서 일반적으로

누수량이 감소되는 것은 수심의 감소에 따라 점토 Lining Coated nylon Lining Polethylene Film Lining 구의 한시간 저수에 의한 누수 손실을 보면 각각 12.61%, 1.74%, 1.3% 이었다.



경과시간에 따르는 윤변 단위면적당의 누수량

그림3.

V. 결 론

시험 기간이 너무 짧았고 또 시설 미비로 인하여 금후 확인 되어야 할 과제가 많이 남아 있으나 본시험에서 얻은 결과를 종합하면 다음과 같다.

1) Polyethylene Film은 지중 매설로 인한 강도 저하는 없고 일광의 폭사로 인한 강도 변화는 있는 것으로 생각된다.

2) Coated nylon은 지중에 매설 하거나 일광에 장기간 폭사하면 강도는 저하하는 경향이 나타났고 누수량은 일반적으로 무시 할수있는 정도로 불투수성에 가깝다.

3) Polyethylene Film의 접착 방법에 있어서 현재 가장 많이 사용되고 있는 열처리 가공 접착법을 택하였으나 일개소의 파열은 연속적인 파열이 일어나기 때문에 좀더 양호한 접착법이 연구 되어야 할것으로 생각되며 열처리가공 접착법은 시공중 흙의 매설 또는 다짐에 의한 충격으로 접착부가 파열되는 예가 많다.

4) Polyethylene Film은 지중에서 강도 변화가 없기 때문에 nylon에 Coating하는 방법이 연구되면 nylon의 토중에서의 약점을 보강 할수있고 시공 조작에도 대단히 편리할 것이다.

5) 1시간동안 수로에 저수하여 누수 손실율을 보면 점토 Lining구에서 12.6% Coated nylon Lining구에서 1.7%, Polyethylene Film Lining구에서 1.3% 이었다.

6) 윤변 단위 면적당의 누수 손실량은 Clay Lining 구에서 3.556cc/cm²/hr, Coated nylon구에서 1.574cc/cm²/hr, Polyethylene Film Lining구에서 0.695cc/cm²/hr을 나타냈다.

7) 공사비는 점토 Lining구를 기준으로 할때 Polyethylene Film구는 92.1% Coated nylon구는 170%의 공사비가 소요 되었으나 본시공만을 목적으로한 Polyethylene Film과 Coated nylon의 대량 생산이 가능하면 저하 될 것이다.

8) 시공상의 문제점

두터운 Polyethylene Film을 사용하면 손상의 위험성은 없으나 Film 의 제조상 폭과 두께에 제한을 받으며 가격도 비교적 높아진다. 따라서 경제적으로 보면 가급적 얇은 것이 득책이나 Pin-hole이 생기기 쉽다.

사력층에서 0.06mm의 Film으로 Lining할때 잔모래의 Cushion위에 매설 함으로써, Film의 손상을 방지할 수 있다.

참 고 문 헌

1. Hickey, M. E. (1957)
"Evaluation of plastic Films as Canal Lining Materials" Laboratory Report No. B-25, Bureau of Reclamation, (Internal Report)
2. Bureau of Reclamation (1963)
"Lining for Irrigation Canals" pp.87—91.
3. Lauritzen. C.W. and F.W. Haws (1960)
"1959 Annual Research Report" USDA Agricultural Research Service, SWC, and Utah State University, Logan, Utah. quoted by 2.
4. Lauritzen, C.W. (1957)
"Seepage Control with plastic Film" Irrigation Engineering and Maintainance. pp. 18-19. 32-33.
5. 土質工學會 (1966)
"土質工學ハンドブック" pp. 961.
6. ASTM. (1964)
"ASTM. Standard on Textile Materials" D256—56.
7. 日本工業規格集
"纖維部門 JIS—Z—208"
8. 韓國工業規格集
"纖維部門 KO. 600"
9. Bureau of Reclamation (1963)
"Lining for Irrigation Canals" pp.68
10. Noncrieff (1963)
"Man-Made Fibers" pp.335—347.
11. 全國纖維工業技術協會編 (1965)
"織物分解設計の實際知識" pp. 67—71.
12. 維纖化學會編 (1967)
"化纖便覽" pp. 52—55
13. 竹內昭入 (1961)
"アースライニング水路の設計施工"
土と基礎 Vol.9 No.1