

GOVP1199802930

631.62
L293E
V.2

최 종
연구보고서

12W 12-

플라스틱 드레인(PD)재를 이용한 저습답의
배수개선에 관한 연구

A study on drainage system development of continuous
moist paddy fields using plastic drains (PD)



연구기관

농어촌진흥공사 농어촌연구원

농림부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “플라스틱 드레인(PD)재를 이용한 저습답의 배수개선에 관한 연구”과제의 최종 보고서로 제출합니다.

1997. 12. .

주관연구기관명 : 농어촌진흥공사

총괄연구책임자 : 3급 김 석 열

연 구 원 : 1급 김 호 일

“ : 2급 홍 병 만

“ : 4급 전 상 옥

“ : 4급 이 득 원

협동연구기관명 : 영남대학교

협동연구책임자 : 조교수 박 영 목

여 백

요 약 문

I. 제 목

플라스틱 드레인(PD)재를 이용한 저습답의 배수개선에 관한 연구

II. 연구개발의 목적 및 중요성

우리나라 논면적은 총 121만ha(1995년)이다. 그 중에서 농민이 경작에 애로를 느끼는 저습답은 12만ha로서 약 9%를 점하고 있다. 또한, 전국 약 32만ha의 논을 대상으로 실시한 조사 결과에 의하면 전답변환 적지비율은 26~30% 정도로 되어있다.

지금까지 주곡의 자급화를 목적으로 답작위주의 농업에 치중해 왔으나 WTO체제 출범 등에 기인된 농산물 수입개방화와 농지의 대구획화, 농업노동력 감소 및 농촌 노동력의 고령화 등의 농업여건 악화에 적극적으로 대처 할 수 있는 농업생산기반 조성 사업의 중요성이 크게 대두되고 있다. 또한 우리나라 전체 양곡의 자급도는 겨우 10% 수준이며(여, 1995), 나머지 농산물은 외국으로부터의 수입에 의존하는 실정이다.

우리나라와 마찬가지로 전세계적으로도 1차 산업인 농업에 종사하는 인력부족 및 산업화에 기인된 농용지의 점용 등으로 식량의

생산성이 저하되리라는 사실은 쉽게 짐작되며, 식량부족에 기인된 사회적 문제는 심각할 것으로 판단된다. 이와 같은 시대적인 요구에 부응하여 농작물의 생산성 확대를 위해서는 대단위 간척사업 등을 통한 농경지 확장의 지속적인 추진은 물론이며, 기존의 저습답을 배수개선함으로써 답작의 생산성 증대와 자금율이 낮은 밭작물의 생산성을 향상시키는, 즉 농지의 이용율을 증가시키기 위한 경지의 범용화의 필요성이 크게 강조되고 있다.

저습답의 배수개선을 위하여 현재까지 국내·외에서 저습답의 배수불량을 개선하기 위한 암거의 효용성에 대하여 많은 연구를 실시해 왔다. 맹암거는 계획배수 시간내에 논의 토양수분을 적정 한도 이하로 낮추어 밭작물 재배에 지장이 없도록 설치하여야 하며 장기적인 배수효과를 거양할 수 있어야 할 것이다.

BC 2000년경 메소포타미아 지방에서 실시되었다는 기원을 가지고 있는 맹암거는 그 사용재료가 PVC유공관, 왕겨, 쇠석, 모래 및 쇠 등으로 다양하다. PVC유공관등은 타설시에 노력과 경비가 많이 소요되고, 타설장비도 2대 뿐이어서 연간 실시되는 배수개선사업의 면적이 극히 제한되어 있으며 소수재료의 공급 측면에서도 문제가 있다.

또한, 암거타설시 답표면의 굴착 폭이 커서 넓은 범위의 지반 교란이 발생하므로 토양중의 간극수 이동이 지연되어 견답화의 기간이 길어지는 경향이 있다.

본 연구에서는 이와같은 단점을 보완하여 효율적인 저습답의 배수개선을 위하여 근래에 개발된 플라스틱 드레인(PD)재를 암거대용으로 사용할 수 있는지 검토와 동시에 트랙터에 부착할 수 있는 규모의 소형 설치장치를 개발하여 동시 다발적으로 사업을 실시할

수 있게 하여 경제적이고 품질관리 및 시공성이 용이한 지하배수 시스템개발을 함으로써 농지의 생산성 향상과 농민의 작업여건을 개선하여 복지 농어촌 건설에 일익을 담당하는 것을 목적으로 한다.

III. 연구개발 내용 및 범위

1. 제1차년도

- 플라스틱 드레인(PD)재의 물리,역학적 특성 규명
- PD재 배수개선 원리 규명
- 실내시험에 의한 재래공법과의 배수효과 비교 검토
- 드레인 설치장비 고안

2. 제2차년도

- PD재의 복합통수능력시험
- PD재의 배수성능 및 코어통수능력시험
- 현장시험포 설치
- 현장에서 재래공법과의 배수효과 비교 검토
- 드레인 설치장비의 적용 및 보완
- 재래공법과 배수효과 비교

3. 제3차년도

- 현장 계측시험(계속)
- PD재의 최적단면 및 시공간격 제시
- 설계 및 시공에 관련된 문제점 도출 및 보완
- PD재 구멍막힘 현상을 회복시키는 방안

- PD재 환경에 미치는 영향 검토
- 설계 및 시공 매뉴얼 작성

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발결과

가. 플라스틱 드레인재의 물리, 역학적 특성

1) 대표적인 8종(국내 6종, 국외 2종)의 PD재에 대하여 물리, 역학적 특성을 규명하였다. 그 중 인장강도특성에 대해 기술하면 국내생산 PD재의 경우 $36.2 \sim 101.5 \text{kgf/cm}^2$ 의 범위를 나타내며, 국외제품은 $130 \sim 200 \text{kgf/cm}^2$ 의 값을 나타냈다. 국내제품 중 4종류는 Kremer(1982)의 기준(0.5kN)에 약간 미달되는 특성을 나타내므로 제조기술의 개선이 요망된다. 반면에 신도는 국내, 국외제품이 각각 $15.0 \sim 62.5\%$, $36.4 \sim 62.5\%$ 의 범위를 나타내어 비교적 큰 값을 나타냄을 알 수 있다.

2) PD재 타설시 트랙터의 견인력에 의해 초기의 PD에 선단에 걸리는 장력을 측정하여 1)의 결과와 비교한 결과, 주행속도가 빨라질수록 PD재 선단에 걸리는 장력이 증가하였고, 트랙터 1단의 최대주행속도인 6km/h 로 주행할 경우 타설초기 1m지점까지 최대장력이 걸리는 것으로 나타났다. 그때의 장력이 40kgf/1본 을 나타내어 국내제품 KL과 DH는 초기에 제품에 문제가 나타날 수 있음을 지적했다. 그 외 시험에 이용한 제품에는 전혀 문제가 없으며, 타설장이 1m이상이 되거나, 주행속도가 4km/h 이하로 하면 타설시 PD재의 손상발생이 없을 것으로 나타났다.

나. 필터의 배수성능 및 구멍 막힘 특성

1) PD재 필터의 투수계수를 측정한 결과, 각 종의 중 최소 투수계수치가 $1.01 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$ 를 나타내어 대표적인 배수개선사업 시행지구 2개소의 저습담 토양의 투수계수인 $1.8 \sim 2.0 \sim 10^{-5} \text{cm/sec}$ 의 5,000배를 나타내어 저습담의 배수개선에 적용시 전혀 문제가 없음을 확인했다.

2) 현장에 PD타설시 견식과 습식에 대하여 유리한 조건규명을 위하여 양 조건에서 투수시험을 실시하여 습식조건이 견식에 비하여 초기에 유리한 투수계수를 나타냄을 알았다. 따라서 현장에서 PD재를 타설전에 고압수로 살수하여 포화시킨후 시공하는 것이 합리적이라는 점을 제안했다.

3) 대표적인 저습담 현장토를 대상으로 7개월간 걸친 PD의 장기간 구멍 막힘(Clogging) 시험을 실시한 결과, 동수구배율이 초기 1,000시간까지는 다소 불안정한 상태를 나타냈으나 그 이후에는 안정된 값을 유지하였으며, 측정 전과정에 걸쳐서 한계 동수구배율인 3이하를 나타냈었고, 관련 연구자료 등을 종합할 때 구멍 막힘에 기인한 문제점은 없는 것을 알았다. 따라서, PD는 장기간에 걸쳐서 원활히 배수개선기능을 나타낼 것으로 추찰된다. 그러므로 진공펌프 또는 콤프레셔 등을 이용하여 PD재 기능회복을 위한 노력이 불필요할 것으로 사료된다.

다. 플라스틱 드레인의 통수능력

1) 특수, 고안 제작된 실물대형 PD의 통수능력시험장치를 이용하여 PD의 통수능력은 측압과 동수구배에 영향을 받는 것을

확인했다. 측압과 동수구배의 증가에 따라 통수능력은 직선적으로 저하하였다.

2) 1)의 시험장치에 의해 PD의 길이 50m까지의 실물을 대상으로 실험한 결과, 종래 길이 1m이하의 샘플을 이용하여 마찰손실수두가 길이에 대하여 1차원적으로 증가된다는 추측은 문제를 내포하고 있음을 알았다. 즉, 길이 2m인 PD재의 통수능력에 대하여, 길이 10m와 50m인 경우 통수능력의 저하가 각각 13%, 24%이므로 길이가 길어질 경우 일정한 통수능력의 저하가 발생하지 않음을 알 수 있다. 따라서 저습답에 길이 약 30~50m로 PD를 타설하여도 웰 레지턴스(Well resistance)에 의한 영향은 무시하여도 무방할 것으로 판단된다.

3) 저습답의 현장조건과 유사한 측압 및 동수구배에서 밴드형(판형)과 원형 PD재의 통수능력을 측정한 결과 밴드형(판형)과 원형 PD재가 각각 $Q_v=209 \sim 346 \text{cm}^3/\text{sec}$, $15,300 \text{cm}^3/\text{sec}$ 를 나타내어 양자 모두 저습답의 배수개선에 적용할 경우 문제가 없음을 알았고, 원형의 경우 기존의 PVC 유공관과 유사한 통수능력을 나타내는 것을 확인했다.

라. PD재의 복합통수능력

1) 길이 5m, 폭 2m, 높이 1m의 대형 복합 통수능력시험장치를 이용하여 2종의 (실트질 모래(SM) 및 준섫 점토(CH))의 시료를 대상으로 PD의 배수성능을 검토한 결과, PD의 타설간격은 2m이하로 하는 것이 합리적인 것을 알았다.

2) 밴드형 PD(PBD)를 대상으로 설치형태에 따른 PD의 배수성능을 비교하여 면을 세워서(연직) 타설하는 경우가 뉘어서(수

평) 타설하는 것보다 유리하다는 것을 알았다.

마. 현장시험결과

1) 군산시 나포면 주곡지구에서 기존의 PVC 유공관 배수재와 타설간격, PD종류, 설치형태 및 소수재 사용유무 등의 다양한 7조건에 배수재의 배수성능을 비교검토한 결과, 밴드형 PD재(PBD)의 타설간격은 2m가 적합한 점, PBD는 세워서(연직) 타설하는 것이 낫아서 타설하는 것보다 유리하다는 점 및 PD주위에 소수재는 효과가 없다는 점 등을 알았다.

2) PD를 2m간격으로 타설하면 충분한 배수기능을 발휘할 수 있으므로 2m간격으로 PD를 타설한 경우와 종래의 PVC 유공관은 타설간격이 10m이므로 상호간의 경제성을 비교한 결과 PD타설의 경우 공사비가 PVC 유공관의 70%를 나타내므로 이를 우리나라 배수개선 대상농지 87,000ha에 대하여 산출하면 약 1천 1백억원의 공사비 절감효과를 나타낼 수 있다. 또한, PVC 유공관의 경우 설치장비(트랜처)의 대수가 2대로 한정되어 있고, PD설치장비는 저렴하게 다량공급이 가능하므로 타설속도의 차이에 따른 배수개선후 증가이익에도 PD가 유리하므로 저습담 배수개선재료 PD의 적용은 큰 경제효과를 거양할 수 있다.

바. 플라스틱 드레인 설치장비 고안, 제작

1) 농민이 직접 저렴하고 간편하게 PD를 저습담에 타설할 수 있도록 쟁기부, 드레인 타설유도판, 드레인 장착장치, 드레인 송출장치 및 되메움판 등으로 구성된 PD설치장비를 고안, 제작하였다.

2) PD설치장비는 운반 및 취급을 용이하게 하기 위하여 5개 부분으로 분리되게 하였으며, 각 중량은 10~120kg이다.

3) PD타설시 간척매립지 등에 조성된 저습담은 표층이 연약하여 견인장치인 트랙터의 바퀴가 빠져 작업에 지장을 초래하거나, PD에 요철 등이 발생하게 되므로 물논바퀴를 부착하여 바퀴의 빠짐현상을 저감시키도록 하였다. 이때 저감효과는 현장에서 직접 측정한 결과 미부착시 평균 24cm의 빠짐깊이가 물논바퀴 부착시 평균 11.3cm를 나타내어 약 47%로 충분한 효과를 나타냈다.

4) PD타설시 트랙터 운전자의 개인특성, 저습담 표면의 불균일 등에 기인하여 PD의 상, 하 및 좌, 우방향 요철을 저감하기 위하여 트랜스용 지지대와 레이저 지시봉으로 구성된 주행방향 및 고저지시대와 트랙터에 부착하여 운전자가 방향성 및 고저를 판단할 수 있는 반사판을 1식으로 하는 부대장치를 고안, 제작하여 PD타설을 더욱 손쉽고 정확하게 하도록 하였다.

사. 환경친화적인 PD재

1) 저습담의 대표적인 pH농도와 수종의 pH농도로 조성된 2종의 저습담토중에 5종의 PD재를 6개월간 묻어 방치한 후 열화특성을 조사한 결과 각 제품모두 pH농도에 따른 열화특성이 거의 나타나지 않았다. 이는 장기간 PD재를 저습담에 배수재로 이용할 경우 문제가 없다는 장점과 상당시간 경과후 지목변경으로 저습지에 굴착을 동반한 공사를 수행할 경우 폐기물(PD재)처리에 문제가 있는 단점을 내포하고 있다.

2) 1)항의 석유화학제품인 PD재의 단점(영구히 부식없음)을

보완하기 위하여 야자껍질로 된 심체와 삼베(황마)로 된 필터로 구성된 환경친화적인 Fiber drain재를 대체로 이용할 수 있으나 이는 배수개선기간을 줄이는 특성이 발생할 가능성을 내포하고 있으므로 향후 추가적인 연구를 실시하여 배수기능의 적정유지를 위한 노력을 하면 충분히 적용가능성이 높은 재료로 될 것으로 판단된다.

3) 1)항의 단점보완차원에서 부피가 작은 필터는 부식성이 없는 석유화학제품으로 하고 코어재로 유연탄 연소재(Bottom ash)를 이용할 경우 통수능력 $Q_v=41 \sim 54\text{cm}^3/\text{sec}$ 로 다소 떨어지나 투수계수가 매우 낮은 CH, CL 등의 저습담에는 환경친화적인 재료로 충분히 가능할 것으로 판단된다.

4) PD재로 저습담의 배수개선을 실시할 경우 담면의 관개수중에 함유된 각종 화학성분이 PD재 통과후에 크게 감소하여 환경정책기본법 농업용수기준을 충분히 만족시키는 값으로 나타내어 PD재를 이용하여 저습담을 개선할 경우 수질의 개선이라는 부수적인 목적을 달성할 수 있다고 사료된다.

아. PD재의 배수 메커니즘 규명 및 최적 타설간격 결정

1) 저습담에서 밴드형 PD재를 이용하여 배수개선을 실시할 경우 PD재 타설 및 경운작업에 기인하는 토양교란영향과 PD재 설치형태에 의한 영향을 충분히 고려하여 현장토질조건 및 배수개선기간에 적합한 타설간격결정식을 테르자기의 2차원 압밀식을 근거로 제안하였다.

2) 해석을 수행한 결과 밴드형 PD재는 뉘어서 설치하는 것보다 세워서(연직) 타설하는 것이 효과가 뛰어나며, 일반적인

저습답에서는 타설간격을 2m로 하는 것이 효과적인 것을 알았다. 그러나, 실제 답표면에는 증발산량이 발생하며, 벼재배에 따른 뿌리와 흙사이의 공극을 통한 배수증가효과에 대해서는 향후 추가적인 연구가 요망되며 이들의 영향을 종합적으로 고려한 적정 배수기간 및 타설간격 결정식이 제안되는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

2. 활용에 관한 건의

가. 드레인 타설장비에 대한 실무교육을 실시하여 농민이 직접 간편하게 타설할 수 있도록 한다.

나. 본 연구에서 시험포를 2개소 설치하여 배수효과에 대하여 검토하였으나, 앞으로 PD재를 저습답에 활용하기 위해서는 시험포를 2~3개소 선정하여 보다 확실한 배수효과에 대하여 검토를 거친후 계획 설계 기준에 삽입하여 설계될 수 있도록 한다.

다. 본 연구와 더불어 답의 대 구획화 계획에 대비하기 위해서는 지표 잔류용 배수관을 매설하여 이를 지하 배수로에 접속하고 평상시에는 배수목적으로 이용하고, 한발시에는 지하 관개용으로 이용될 수 있는 연구가 추가로 필요하다.

SUMMARY

I . Title

A study on drainage system development of continuous moist paddy fields using plastic drains(PD)

II . Object and importances of the study

The total area of paddy fields in the country is 1,210,000 ha(1995 year), of which approximately 9 percents are the continuous moist paddy fields which requires drainage improvement. Through the sample survey for 320,000 area of paddy fields, only 26-30 percents of the sample area can be utilized for dry field farming.

Up to date special emphasis has been put on the rice cultivation, which has tried to be developed with a high priority to attain self-sufficiency. However, since rural society has undergone a rapid and violent changes such as the opening of domestic markets, import liberalization of agricultural products, out-migration of youth, decrease in rural population and farmland size expansion by regrouping, it should be recognized that coherent structural policy and sufficient investment in improving infrastructure are preconditions over new rural environments. Further, degree of self-sufficiency for food grains is only 10 percents and rest depends mainly on imported agricultural products. High

economic growth and rapid industrialization entailing the expansion of industrial sites and road networks has encroached on arable lands. To cope with these difficulties, great efforts should be made to increase farm fields and provide good facilities for the existing farm fields. These can be done by reclaiming tidal flats, waste lands, developing marginal lands and improving irrigation or drainage facilities for the existing farm fields having poor working conditions.

A great deal of research on continuous moist paddy field has been made on the functioning of the underground drain to improve productivity. Especially, the mole drains have evolved considerably since its first use in Mesopotamia province. In its early stages drains were filled with stones, brushwood and sand. Later regular underground channels were made in the form of wooden box pipes, drain tiles and concrete. Perforated plastic pipes were introduced around 1960, which have many apertures distributed around the whole circumference for water entry. However, although perforated plastic pipe has many distinct advantages such as light weight, delivery in long length, low transportation costs etc., it requires much more labor and cost for placement than other types of underground drainage systems, and is restricted to use due to its envelope placed around pipe and shortage of installation equipment. In addition, since the spacing of pipe is so wide, ground water flow toward the pipe tends to be retarded by disturbed soil

around pipe.

Recently developed plastic drain board(PD) has a good drain property and could be used as a substitute for perforated plastic pipe. PD generally can offer the cheapest installation costs among various drainage pipes in case of using with appropriate installation equipment. The objective of this report is to provide a general technique for applying plastic drain board to continuous moist paddy field for improving productivity and to develop a device for PD placement attachable to a farm tractor to handle easily on site.

III. Contents and Scope of the study

1. First year

- o Examination of physico-mechanical characteristics of PD
- o Examination of drainage system principles
- o Comparison and examination on the effect of drainage by laboratory test
- o Device of equipment for installation

2. Second year

- o Complex discharge capacity test of PD
- o Discharge performance and core discharge capacity of PD
- o Installation of experimental field
- o Comparison of field and laboratory test on the influence of drainage

- o Application and modification of installing equipment of PD
- o Comparison of conventional method and PD on the influence of drainage

3. Third year

- o Measuring test in the Field
- o Suggestion of optimum area and construction spacing of PD
- o Detect of problem connected with design and construction, and it's modification
- o Review of environmental intimate PD

IV. Results of the study and Suggestion for Application

Conventional subsurface PVC pipe for drainage improvement of continuous moist paddy fields is required a lot of efforts and financial supplies, and limited to the amount of operations.

This study was carried out the examination of application of plastic drains by means of Lab. and field test, the device & manufacture of equipment with a view to easy and economical installation of PDs., and also numerical analysis to find the optimum spacing of PBD. Brief Summaries of main points to get this study are as follow:

1. By the results of examination of PD characteristics, PD is able to be applied to improve continuous moist paddy fields(CMPF) in terms of permeability and tensile strength.
2. The filter of PD has enough permeability to be used drainage materials for improvement of CMPF. The results of long-term clogging test show that there is no bad influence to the drainage performance of PD.
3. The result of the investigation of drainage performance considered confining pressure, hydraulic gradient and PD length simulated to the field condition using specially manufactured large scale discharge capacity test apparatus, 30~50m long length of PD can be kept required discharge capacity. Especially, circular shaped PD is better drainage performance than band shaped one, and almost same discharge capacity as conventional subsurface drainage PVC pipe.
4. The results of the investigation of drainage performance of PD at lab. and field tests show that the optimum spacing is 2m for band shaped PD.
5. In comparison to installation methods of PBD, standing type that the drain is installed vertically is measured greater amount of drainage than lying type that the drain is

installed horizontally.

6. By the result of economical analysis between 2m spacing of band shaped PD and 10m spacing of conventional PVC pipe, construction expenses of PD is 70% of conventional PVC pipe's. In case of the improvement of 87,000 ha, the construction expenses cut down approximately to ₩ 110 billion.
7. Device and manufacture of equipments with a view to easy and economical installation of PDs(band and circular shape).
8. The result of investigation of long-term corrosion characteristic of PD shows that the tensile strength never affected from pH concentrations and elapsed time.
9. By the result of literature review about the environmental intimate Fiber drain, it is good recognized for the possible usage, however that has some problem for the long-term drainage performance. Therefore, the progress of products should be studied further.
10. Discharge capacity of environmental intimate bottom ash for core materials ranges from 41 to 54 cm³/sec.

This material can be used for CH and CL soils with low

permeability.

11. Drainage mechanism of lateral PD considered smear effects due to installation and digging is examined based on Terzaghi's two dimensional consolidation theory, and governing differential equation is proposed for the simple determination of PD spacing with known values of vertical and horizontal permeability.

12. In case of drainage improvement of continuous moist paddy fields, the manual of PD selection, and design & construction, and the use of installation equipment is presented for engineers and farmers.

여 백

CONTENTS

Chapter 1. Introduction

Section 1. Object of the study	29
Section 2. Contents and scope of the study	30
Section 3. Study scheme	31

Chapter 2. Examination of physico-mechanical characteristics of plastic drains

Section 1. General	35
Section 2. General properties	35
Section 3. Tensile strength of PD	37

Chapter 3. Drainage performance and clogging

test of PD's filter

Section 1. General	42
--------------------------	----

Section 2. Permeability of filter	42
Section 3. Clogging test	47

Chapter 4. Discharge capacity test of PD

Section 1. General	57
Section 2. Discharge capacity of band shaped PD	59
Section 3. Discharge capacity of circular shaped PD	69

Chapter 5. Complex discharge capacity test of PD

Section 1. Test apparatus	72
Section 2. Test method	74
Section 3. Soil properties	74
Section 2. Test results and discussion	77

Chapter 6. Field test

Section 1. General	89
Section 2. Soil properties of experimental field	93

Section 3. Test results and analysis	95
Section 4. Economical analysis	101

**Chapter 7. Device and manufacture of installing
equipment of PD**

Section 1. General	104
Section 2. Device and manufacture of installing equipment of PD	104
Section 3. Device and manufacture of sub-system equipment	112

Chapter 8. Review of environmental intimate PD

Section 1. Corrosion characteristic of PD	118
Section 2. Fiber drain	121
Section 3. Application of bottom ash for core materials	125
Section 4. Analysis of water quality in the experimental field	133

**Chapter 9. Examination of drainage mechanism and
determination of optimum spacing of PD**

Section 1. General	135
--------------------------	-----

Section 2. Theory of conventional drainage	136
Section 3. Theory of plastic drain	141
Section 4. Theoretical analysis of horizontal drain	150
Chapter 10. Conclusions	168
Reference	175

Appendix

1. Design and Construction manuals

Section 1. Objective	183
Section 2. Scope	184
Section 3. Selection criteria of PD	184
Section 4. Design code of PD	187
Section 5. Design guide	190
Section 6. Construction guide	200

2. Design program List

목 차

제1장 서 론

제1절 연구목적	29
제2절 연구내용 및 범위	30
제3절 연구방법	31

제2장 플라스틱 드레인(PD)재의 물리, 역학적 특성 규명

제1절 서설	35
제2절 일반적인 성질	35
제3절 PD재의 인장강도	37

제3장 필터의 배수성능 및 구멍 막힘 시험

제1절 서설	42
제2절 필터의 투수성	42
제3절 필터의 구멍 막힘 현상	47

제4장 플라스틱 드레인의 통수능력

제1절 서설	57
제2절 밴드형 PD의 통수능력	59
제3절 원형 PD의 통수능력	69

제5장 PD재의 복합용수능력시험

제1절 시험장치	72
제2절 시험방법	74
제3절 토질특성	74
제4절 시험결과 및 고찰	77

제6장 현장시험

제1절 서설	89
제2절 시험포장의 토질특성	93
제3절 시험결과 및 분석	95
제4절 경제성 분석	101

제7장 플라스틱 드레인 설치장비 고안, 제작

제1절 서설	104
제2절 드레인 설치장비 본체의 고안, 제작	104
제3절 드레인 설치 보조장치의 고안, 제작	112

제8장 환경친화적인 PD재 검토

제1절 PD의 열화특성	118
제2절 Fiber 드레인재	121
제3절 코어재로 유연탄 회의 이용	125
제4절 시험포의 수질분석	133

제9장 PD재의 배수 메커니즘 규명 및 최적 타설간격 결정

제1절 서설	135
제2절 재래식 암거배수이론	136
제3절 플라스틱 드레인에 대한 이론	141
제4절 수평 드레인에 대한 이론해석	150

제10장 결론	168
---------------	-----

참고문헌	175
------------	-----

부 록

1. 설계 및 시공 매뉴얼

제1절 목적	183
제2절 범위	184
제3절 PD재 선정기준	184
제4절 PD재 시방서	187
제5절 설계지침	190
제6절 시공지침	200

2. 설계 프로그램

여 백

제 1 장 서 론

제 1 절 연구 목적

우리 나라 농업은 고도의 산업화와 도시화에 따라 농업 노동력이 크게 감소하고, 대외적으로는 UR 체결 등 농산물의 수입개방으로 인하여 농촌의 생활환경은 더욱 위축되어 가고 있다. 따라서, 이러한 농업여건의 시대적 변화에 대처하기 위하여 지역별 특성에 맞는 계획적인 농지이용과 이에 따른 새로운 농지정비를 위한 방향 설정이 요구되고 있다. 그 일환의 하나로써 기존의 답을 대구획화 하고 저습답을 배수개선하여 기계화와 노동력을 절감하고, 농지의 생산성을 높여 농가의 소득을 증대시키고 있다.

이와 관련하여 배수효과에 대하여도 우수할 뿐만 아니라 암거의 설치 작업에 있어서도 농민이 농용 트랙터 등을 이용하여 손쉽게 타설할 수 있는 공법의 제시가 필요하다.

그러나 국내외적으로는 저습답을 배수개선하기 위하여 재래식 맹암거와 PVC 유공관을 일관되게 사용되어 오고 있지만, 암거의 설치작업에 많은 노력과 비용이 소요되고 있는 실정이며, 암거 설치 장비가 고가이고 장비 대수도 몇 대로 한정되어 있어 효율적으로 시공하는데 어려움이 있는 실정이다.

본 연구에서는 이러한 농업여건의 악화에 적극 대처하기 위하여 배수가 불량한 저습답(수령논 및 과습논)을 플라스틱 드레인(Plastic drain, PD)재를 이용하여 농민이 직접 저렴하고 간편하게 개량하여 전답윤환 재배가 가능하게 하여 농지이용의 효율성을

제고하고 농민의 작업환경을 개선함으로써 궁극적으로 농가소득증대를 기하는데 그 목적이 있다.

제2절 연구내용 및 범위

1. 1차년도 : 가. 국내외 자료수집
나. 플라스틱 드레인재 물리, 역학적 특성 규명
다. 플라스틱 드레인재 배수개선 원리 규명
라. 실내시험에 의한 재래공법과의 배수효과 비교검토
마. 드레인 설치 장비 고안
2. 2차년도 : 가. 플라스틱 드레인재의 복합통수능력 시험
나. 플라스틱 드레인재의 배수성능 및 코어통수능력시험
다. 현장시험포 설치
라. 시험포 설치 및 현장에서 재래공법과의 배수효과 비교검토
마. 드레인 설치 장비의 적용 및 보완
바. 재래공법과 배수효과 비교
사. 시험포 토질의 물성시험
아. 시험결과 분석 및 검토
3. 3차년도 : 가. 현장계측시험
나. 플라스틱 드레인재의 최적 단면 및 간격제시

- 다. 설계 및 시공에 관련된 문제점 도출 및 보완
- 라. 플라스틱 드레인재 구멍 막힘 현상을 회복시키는 방안
- 마. 플라스틱 드레인재가 환경에 미치는 영향검토
- 바. 설계 및 시공 메뉴얼 작성

제 3절 연구방법

1. 국내외 자료수집

- 가. 기존의 암거배수와 관련된 각종 자료수집(농지개량사업 설계기준(배수편)) 외 11편
- 나. PD재 관련 각종 논문 수집(100 여편)
- 다. PD재의 수명설치에 관련된 자료수집(3편)

2. 플라스틱 드레인(PD)재의 물리, 역학적 특성 규명

- 가. 국내, 외 PD제품의 물리적 성질 규명
- 나. PD재의 인장강도 시험
- 다. 현장에서 트랙터 주행시 PD재에 걸리는 인장력 측정 및 PD 자체 인장력과의 비교검토

3. 필터의 배수성능 및 구멍 막힘 특성

- 가. PD재 필터의 투수계수 측정 및 건, 습상태에 대한 유리한 조건 선택
- 나. 필터재의 장, 단기 구멍 막힘 특성 검토

다. 대표적 2개소 저습답 흙을 대상으로 장기 구멍 막힘 특성 검토

4. 플라스틱 드레인(PD)의 통수능력

가. 밴드형 PD의 측압, 동수구배 변화에 따른 통수능력 검토

나. 원형 PD의 통수능력 검토

다. 실물대형 실내시험을 통하여 PD의 길이에 따른 통수능력 변화 검토

5. PD재의 복합 통수능력시험

가. 실트질 모래(SM)와 준설패립점토(CH) 시료를 대상으로 PD의 적정 타설간격 결정

나. 밴드형 PD의 설치형태(면 세움(연직) 및 뉘움(수평))에 따른 통수능력 비교, 검토

다. 준설패립점토의 침강 및 자중압밀 특성 검토

6. 현장시험

가. 내륙지(전북 군산시 나포면 주곡지구)와 간척매립지(대호지구 5공구)를 대상으로 종래의 PVC 유공관, 밴드형 PD재, 원형 PD재, 환경친화적인 유연탄 연소재 등을 설치간격, 설치형태 및 소수재 적용 여부등의 영향에 따른 배수성능 비교 검토

나. 저습지 개선을 종래 PVC 유공관과 PD재를 적용할 경우를 대

상으로 경제성 분석 실시

7. 플라스틱 드레인 설치장비의 고안, 제작

가. 밴드형 및 원형 PD재를 농민이 직접 농용트랙터를 이용하여 간편하게 타설할 수 있도록 2종의 디스크식 설치장비의 고안, 제작

나. 트랙터의 바퀴 빠짐을 방지하는 물논바퀴의 제작 및 효과 실험

다. PD가 일직선으로 타설되게 하기 위한 주행방향 및 고저지시대를 보조용 장치로 고안, 제작

8. 환경친화적인 PD재 검토

가. 저습답의 PH 농도변화에 따른 PD재 열화특성 검토

나. 수년 경과후 부식되어 토양화하는 천연 Fiber drain재의 특성 고찰

다. 환경친화적인 유연탄 연소재(bottom ash)의 드레인재 적용 시험 및 결과 고찰

9. PD재의 배수메커니즘 규명 및 최적 타설간격 결정

가. 재래의 암거 배수이론 검토

나. 플라스틱 드레인에 대한 이론 검토

다. 현장 저습답 토질조건과 PD타설 및 경운작업 등에 의한 지반교란현상을 고려한 밴드형 PD재의 적정 타설간격 결정식 제안

라. 테르자기(Terzaghi)의 2차원 압밀식을 토대로 한다. 결정식

을 이용하여 대표적인 저습담의 적정 타설간격 결정 해석결과 제시

10. 설계 및 시공 매뉴얼 작성

가. PD재 선정기준

나. PD재 시방서

다. 설계지침

라. 시공지침

마. PD재 설치 장비 운용지침

제2장 플라스틱 드레인(PD)재의 물리, 역 학적 특성 규명

제1절 서 설

저습담의 배수개선사업에 PD재를 사용할 경우, 지반에 타설하는 과정에서 발생할 수 있는 변형 및 파열과 담표면의 경운작업 등의 영농작업과정에서 발생할 수 있는 굴곡(bending), 꺾임(folding) 등의 변형, 배수과정 중의 필터 슬리브의 구멍 막힘(clogging) 및 유로단면적 감소 등에 따라 통수능력(discharge capacity)이 저하되어 건담화의 지연요인이 될 수 있다. 이들의 영향을 최소화하기 위하여 PD재의 물리적 성질을 실내시험을 통하여 정확히 규명하여 두는 것이 중요하다. PD재의 기본적인 물리적 성질에 포함되는 항목으로는 재질, 표준중량, 규격, 인장강도, 인장신도 및 투수계수 등이 있다.

제2절 일반적인 성질

표 2.1, 2.2에는 대표적인 PBD재의 물리적 성질을 국외제품과 국내제품으로 나누어 나타냈다.

표 2.1 대표적인 국외 PD재의 물리적 성질 (朴, 1994)


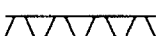





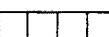

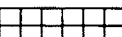
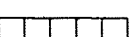
		GL	MW, MB	CS, CS ₂	TS	TF
Thickness (mm)		3.4 ± 0.5	3.0 ± 0.5	2.6 ± 0.5	4.6 ± 0.3	7.5 ± 1.0
Width (mm)		95.8 ± 2.0	100 ± 20	94 ± 2	100 ± 3	100 ± 5
Unit mass (g/m)		100	75	90	100	80
Material	Filter	Synthetic fiber of cellulose and polyester	Non woven fabric made from polypropylen	Spun bonded of polyester	Non woven fabric made from polypropylen	Spun bonded non woven fabric made from polyethylene
	Core	Polyolefin	Polypropylen	Polyethylene	Polyethylene	
Structural type		Free	Free	Fixed	Free	One body
Cross-section						

표 2.2 국내제품의 대표적인 PD재의 물리적 성질 (박, 1997)

	HK	SW	SH	KL	DH	DS
Thickness (mm)	92.2	93.0	92.5	96.0	98.5	93.0
Width (mm)	2.7	3.0	3.0	2.7	3.5	3.0
Permeability of filter sleeve, k_{15} (cm/sec)	2.7×10^{-1}	2.3×10^{-1}	2.4×10^{-1}	3.7×10^{-1}	1.2×10^{-1}	4.7×10^{-1}
Structural type	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Free	Fixed
Cross-section						

저습담의 배수개선을 목적으로 PD제품을 선정할 경우 여러 특성

을 고려할 필요가 있으나 그 중 가장 중요한 요건은 배수성능 및 인장강도의 확보이다. PD재의 인장강도의 경우는 타설 및 경운작업에서 발생하는 파손과 직접적인 관련이 있으므로 매우 중요한 특성이다. 차(1994)에 의하면 3년간의 장기간에 걸쳐 연약지반의 변형률이 약 40%에 달할 때까지 압밀시킨 후에 PBD재의 형상을 육안 관찰한 결과 여러 개소에 파손현상이 나타나 있음을 지적하고 있으며, 新畝 등(1987)에 의해서도 유사한 결과가 보고되어 있다.

제 3절 PD의 인장강도

Kremer 등(1982)은 PBD 전체에 대하여 인장강도가 어떠한 경우에도 0.5kN이상이어야 하며, 파괴시의 변형율은 2%이상 10%이하를 권장하고 있다. 그림 2.1에는 차(1994)이 5종류(CS, CS₂, GL, MW 및 TS)의 국외제품에 대하여 인장시험을 실시한 결과를 나타낸다. 시험에 이용된 5제품 모두 인장강도는 Kremer 등(1982)이 제시한 규정치를 상회하고 있는 반면, 파괴시의 변형률은 20% 부근에 있음을 알 수 있다. PD재 타설시 트랙터의 견인력에 의해서 발생하는 인장력에 효율적으로 대처하기 위해서 파괴시의 변형율은 클수록 유리하다고 판단된다. 국내 생산제품의 인장강도 파악과 국외 제품과의 비교를 위해서 8종류(국내:6종, 국외:2종)의 PBD재에 대한 인장강도시험을 실시했다. 시험은 KSK 0520 규정에 의하여 실시하였으며, 폭 및 두께는 각 사의 기성제품을 그대로 이용하였다. 시료의 길이는 30cm로 하였으며, 인장속도는 10±3%/min이고 시험치는 각 제품에 대하여 2~3회씩 시험한 값의 평균치를 취했다.

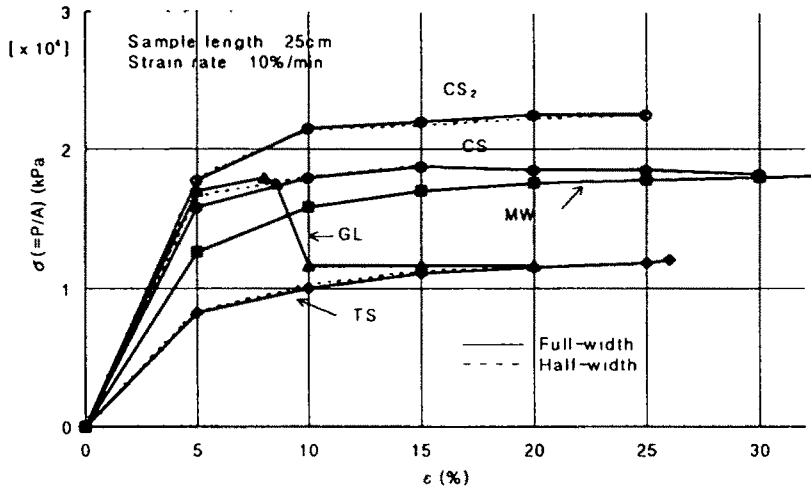


그림 2.1 인장시험에 의한 응력 ~ 변형곡선

표 2.3 대표적인 PD재의 인장시험 결과

Nationality	Product name	Size		σ_t (kgf/cm ²)	Ductility		R. M.
		Length (cm)	Thickness (mm)		Δl (cm)	Percent elongation (%)	
Korea	HK	30	2.5	101.5	2.5	31.3	
	SW	30	2.6	64.8	38.5	48.1	
	SH	30	2.6	45.2	4.0	62.5	
	DS	30	2.8	41.9	1.2	15.4	
	KL	30	2.6	37.0	18.0	22.5	
	DH	30	3.10	36.2	49.7	62.1	
Japan	MB	30	3.50	130.0	5.0	65.8	
	GL	30	2.60	200.0	3.0	36.4	

표 2.3에는 인장시험 결과를 나타낸다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 국내제품의 인장강도는 36.2~101.5kgf/cm²의 범위를 나타낸다. 이는 국외제품 130~200kgf/cm²에 비해서는 훨씬 낮은 값을

나타내며, 그 중 4종류는 Kremer(1982)의 기준에 약간 미달되는 현상을 보인다. 국외제품은朴(1994)이 실시한 시험치인 인장강도 $\sigma_t=11,000\sim 22,000\text{kPa}(110\sim 220\text{kgf/cm}^2)$ 과 거의 같은 값을 보여 시험방법상의 문제점은 없는 것으로 사료된다. 신도에 있어서는 국내제품이 15.0~62.5%의 범위인데 대하여 국외제품은 36.4~62.5%의 범위를 나타내어 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

PD재 타설시 출발점(시점부)에서는 PD재와 흙 입자간의 마찰력 작용이 없으므로 PD재의 선단이 트랙터 주행에 따라 끌려갈 우려가 있으므로 선단을 고정하는 장치가 필요하며, 트랙터의 주행에 의해 발생된 견인력이 PD재의 허용 인장력 이내여야만 PD재의 손상을 방지할 수 있기 때문에 이들에 관한 검토가 필요하다.

본 연구에서는 영산강 사업지구에서 장력계를 이용하여 트랙터의 주행 속도별 초기 타설시 PD재에 걸리는 장력을 측정하였다. 2개의 철판(폭×길이×두께=10cm×3cm×3mm)을 PD재 선단에 부착하고 PD재에 3개의 구멍을 뚫은 후 볼트와 너트를 이용하여 철판과 PD재가 일체가 되게 하였다. 철판에 연결된 고리로 일축압축시험용 프루빙 링을 연결하고 프루빙 링의 반대쪽에는 연결고리로 고정봉과 연결시켰다. 주행속도를 2km/h, 3km/h, 4km/h 및 6km/h의 4종류로 하였다. 사진 2.1에는 주행속도에 따른 장력측정전경을 나타낸다. 각 주행 속도별 거리(1m당)마다 측정된 결과를 표 2.4에 나타냈다.

표 2.4 주행속도와 거리별 PD재 선단에 걸리는 인장력(kgf/PD 1본)

		주행속도(km/h)				비고
		2	3	4	6	
선단 으로 부터 거리 (m)	1	29	35	33	40	
	2	24	29	27	31	
	3	20	25	22	26	
	4	13	14	16	19	
	5	0	0	0	0	
	6	0	0	0	0	



사진 2.1 주행속도에 따른 장력측정전경

측정결과 주행속도가 빨라질수록 PD재의 선단에 걸리는 장력이 증대하였으며, PD재 타설시 트랙터 1단의 주행 최대속도인 6km/h

로 주행할 경우 1m 지점까지 최대의 장력이 걸리고, 그때의 장력이 40kgf/PD 1본을 나타내어 이 경우는 국산 KL, DH 두 제품은 초기 1m 지점에서 장력의 문제가 발생할 우려가 있으나, 1m이상 및 견인속도 4km/h이하인 경우에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

또한 타설장이 길어질수록 PD재와 지반토간의 상호 마찰력에 기인하여 선단의 장력이 감소하며 5m 부근에서 선단장력이 제로(0)로 되었다. 따라서 PD재의 타설장이 5m이상 이 되고 난 후에는 PD재 선단에 설치한 고정봉을 뽑아 옮겨도 무관하다. 또한, 저습담의 표면 지내력이 너무 약하여 고정봉으로 지지가 어려울 경우에는 부득이 인력으로 장력이 걸리지 않을 때까지 선단을 잡고 있어야 한다.

제3장 필터의 배수성능 및 구멍 막힘 특성

제1절 서 설

종래의 PVC유공관 속에 세립자의 유입을 방지함과 동시에 배수관의 영역을 확장시킬 목적으로 주위에 포설한 소수재(왕겨 등)를 없애고 PD자체만으로 흡수관의 역할을 충분히 수행할 수 있다는 내용을 본 연구에서 주 골자로 하기 때문에 PD자체의 부직포 필터(non-woven filter)가 저습담의 간극수를 배출하기 위한 충분한 투수성능을 유지함은 물론 직접 접촉하고 있는 저습담의 세립토 부착이 발생한 뒤에도 확실한 배수기능을 발휘할 수 있는 능력을 확보해야함이 무엇보다 중요하다.

따라서, 본장에서는 PD재 필터(filter)의 실내 투수시험을 통한 배수성능 검토와 구멍 막힘(clogging)현상이 발생했을 경우에도 저습담의 배수개선에 악영향을 끼치지 않고 기능을 충분히 발휘할 수 있는지의 여부를 검토하기로 한다.

제2절 필터의 투수성

필터의 투수계수를 측정하기 위한 시험장치는 직경 20cm, 높이 50cm의 아크릴로 제작된 2대의 시험 본체와 정수위 투수시험을 위한 동수구배 조절을 위하여 유입, 유출 수조($A \times B \times H = 0.3 \times$

0.3×0.3m)와 연결호스(Φ =3cm)를 접속하였다.

투수시험은 7종류의 PD재 필터를 대상으로 수두차 ΔH를 0.5cm~7cm 범위에서 4단계로 나누어 실시하였다. Reynold수로서 물의 흐름상태를 검토한 결과 시험에 대상으로 한 수두차에 대해서 PD재 내부

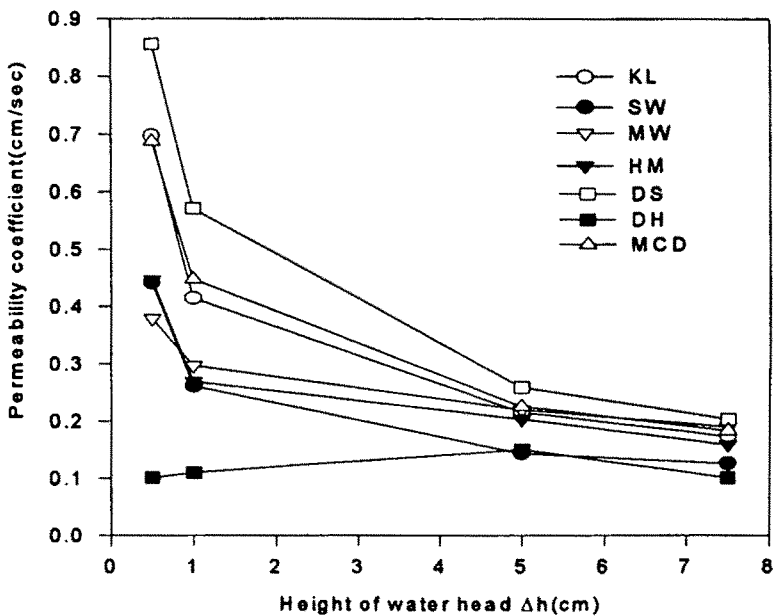


그림 3.1 수두차 Δh와 필터의 투수계수의 관계

의 흐름은 층류상태를 유지하였다. 그림 3.1에는 수두차 ΔH와 필터의 투수계수 관계를 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 ΔH가 커짐에 따라 흐름상태가 불완전해지고 투수계수가 현저하게 감소하는 것을 나타내고 있다. 수두차 ΔH=0.5cm인 경우 투수계수의 범위는 0.101~0.856cm/sec로 재질에 따라 크게 차이가 남을 알 수 있으나, ΔH가 5cm 및

7.5cm로 증가함에 따라 PD재의 종류별 투수계수의 차이가 비교적 적어짐을 알 수 있다. 이는 수압차의 증가에 기인된 필터의 공극 및 두께가 안정화된 것이 주요인이라 판단되며, $\Delta H=7.5\text{cm}$ 에 대한 투수계수의 범위는 $0.101\sim 0.204\text{ cm/sec}$ 이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 투수계수의 최저값을 나타내는 DH제품은 수두차에 의한 투수계수의 변화도 거의 없으며, $\Delta h=7.5\text{cm}$ 에 대한 투수계수는 $1.01\times 10^{-1}\text{cm/sec}$ 를 나타낸다. 이 값은 대표적인 PD재 필터의 최소치이나, 내륙지의 배수개선사업 대상지구 저습답인 충남 논산군 신화지구 대상토의 투수계수가 $2.0\times 10^{-5}\text{cm/sec}$ 로 나타내므로 이것에 비하면 약 5,000배를 나타내며, 본 연구의 현장시험 실시지구인 대호지구 대상토 투수계수도 $1.8\times 10^{-5}\text{cm/sec}$ 를 나타내므로 저습답 배수개선사업에 PD재의 사용이 충분히 가능한 것으로 판단된다.

필터(filter)의 투수계수 시험에 있어서, 실내시험에서는 filter를 완전 포화시켜서 공기를 제거한 후 실험하는데 비해 실제 현장에서 PD재가 타설될 경우에는 건조한 상태이므로 실내시험과 현장시공의 상이에 따른 결과의 차이가 발생할 우려가 있다. 이로 인해 생기는 차이를 규명하고, 건, 습식조건중에 유리한 상태를 현장에 제시하기 위하여 두께가 얇은 국내제품인 DH와 국외제품인 MW, 두께가 두꺼운 국외제품인 메너드 드레인(Menard circlie drain, MDC)의 filter를 대상으로 습식과 건식의 양조건에 대하여 실내시험을 실시하고 그에 대한 비교, 고찰을 실시하였다.

필터의 습식조건은 시험장치에 셋트하기 전에 물 속에 24시간 담귀서 충분히 포화시키고 세트후에도 표면의 공기(기포)를 진공

펌프를 이용하여 완전히 제거한 상태이며, 건식조건은 공기 건조된 filter를 시험장치에 세트하고 표면부의 공기(기포)를 제거하지 않은 상태에서 투수시험을 실시했다. 또한, 본 실험에서는 다량의 물이 소요되기 때문에 수도물을 이용하였다. 수도물의 조건은 현장 저습답의 토양속에 포함된 각종 함유물과 유사한 성분을 나타내므로 이 결과는 실제 현장에서 발생할 수 있는 현상으로 간주할 수 있다.

그림 3.2에는 습식과 건식의 투수계수를 시간에 따른 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 국내제품인 DH는, 초기에는 습식의 투수계수가 0.29cm/sec로 건식의 0.12cm/sec에 비하여 2.5배의 높은 투수계수를 나타냈으나, 시간이 경과해 통수 후 약 3,000분이 경과한 다음에는 건식의 투수계수가 점차 증가하여 습식과 유사한 투수계수값을 나타냄을 알았다. 국외제품인 MW의 경우 수도수에 함유된 철분 등의 영향을 받아 습식, 건식 모두 상대적으로 낮은 투수계수치를 나타냈으나, 초기에 습식이 건식보다 약 5배의 높은 투수계수를 나타낸다. 약 4,000분 경과후 유사한 값을 보인다. 국외제품인 메너드 드레인(MCD) 필터의 경우에도 초기에 습식 조건의 투수계수가 0.306cm/sec로 건식의 0.208cm/sec 값의 1.5배를 나타내며, 약 2,000분 경과후에는 양자가 비슷한 값을 나타내며 일정한 투수계수를 유지하는 것을 알 수 있다. DH 및 MCD의 경우 습식, 건식 모두 통수후 3,000분이 경과한 뒤에는 $k=2.0 \times 10^{-1}$ cm/sec에 거의 수렴되어 안정된 값을 나타내고 있다. 필터의 재질 등에 따라서 건, 습식의 상태에 따른 투수계수의 차이가 나타나며 3종류의 실험을 종합하면 습식이 건식보다 다소 큰 투수계수를 나타낸다.

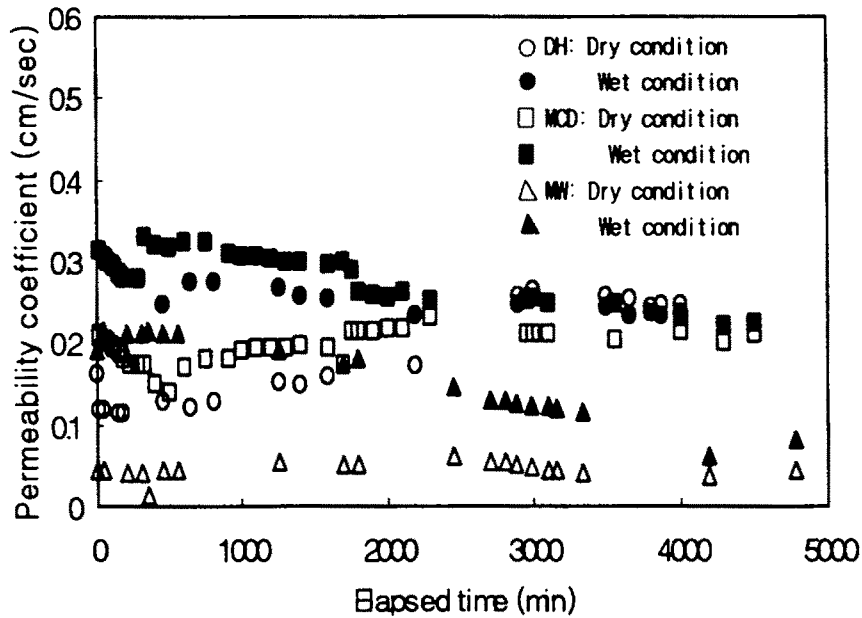


그림 3.2 필터의 습식 및 건식조건에서 투수계수의 변화

실험이 끝난 후 필터의 표면에 부착된 철분 등의 잔유물을 관찰한 결과 3종류의 필터 모두 습식이 건식보다 많았으며 습식은 전 표면에 골고루 잔유물이 부착되어 있음에 비하여, 건식은 특정부분에만 한정적으로 부착되어 있는 것으로 나타나 기포의 영향으로 물이 필터의 일부분만을 통과할 것으로 추정된다. 따라서, 현장시공시 PD재 표면에 고압수를 이용한 살수법 등을 통하여 골고루 포화시키면 필터의 통수영역이 전표면으로 확대할 수 있고, 이와 같은 과정을 거쳐 습식으로 PD를 타설할 경우 더욱 유리한 PD재의 초기 배수성을 확인할 수 있을 것으로 판단된다.

제 3절 필터의 구멍 막힘 현상

PD의 특징중 하나는 투수성의 경시변화이다. PD재의 시간에 따른 투수성의 감소 요인 중 가장 큰 영향을 미치는 것이 구멍 막힘 (clogging)현상이므로 이에 대한 실험 및 고찰은 중요하다.

구멍 막힘 시험(Clogging Test)은 장기 시험과 단기 시험으로 대별할 수 있으며 장기 시험은 일정 수두를 유지하면서 장기간에 의 막힘현상에 의한 필터재의 투수성 감소를 측정하기 위한 시험이다. 단기 시험은 일정간격으로 수두차를 변화시키면서 24시간 간격으로 시간별 동수구배율(Gradient Ratio)의 변화를 측정하여 각 필터재의 막힘 Potential의 차이를 규명하는 것이다.

본 연구에서는 구멍 막힘 시험은 ASTM D5101의 시험법을 참고로 하여 실시하였다.

Clogging test장치는 크게 3부분(Permeameter, Manometer, Constant head device)으로 나누어진다. 그림 3.3에 Clogging test장치도, 그림 3.4에는 동수구배율 계산을 위한 그림을 나타낸다.

Permeameter는 시료와 실험용 필터(filter)재가 들어있는 cell로 유입·유출 일정수두장치와 연결된 밸브와 Manometer와 연결된 6개의 포트가 구성되어 있다. 이 cell은 상·중·하 3부분으로 이루어지며 각각 직경(ϕ)이 10.0cm, 높이(h)가 10.0cm다. 각 포트로부터 수두를 측정하여 흙 시료를 통과하는 수두와 흙과 필터를 통과하는 수두의 차를 구해 동수구배율(Gradient Ratio)을 구한다.

Manometer는 Permeameter의 포터를 통해 유출되는 유량의 수두

차를 측정하는 장치로 총 4개의 유리관으로 구성되어 있다. Constant head device는 유입·유출 수두기구로 구성되고 동수구배 (i)를 1, 2.5, 5, 7.5, 10 등의 단계에 걸쳐 일정한 수두차로 물을 공급한다. 일정수두로 물을 공급함으로써 Permeameter내의 시료내로 물의 흐름이 발생해 그에 따라 필터에 미세 점토의 막힘으로 인하여, 막힘 Potential이 증가하도록 하는 역할을 한다.

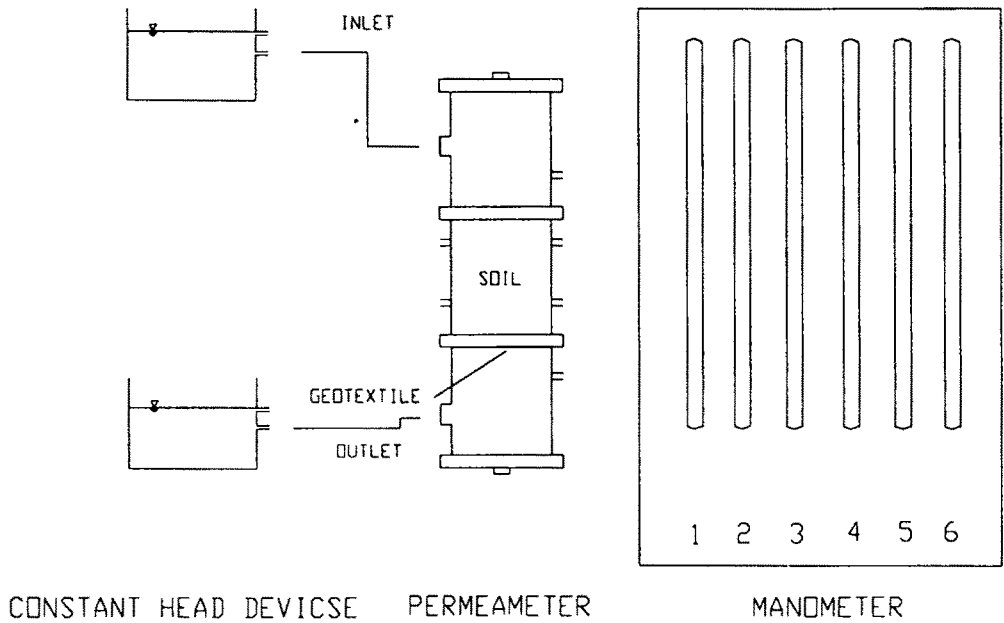


그림 3.3 구멍 막힘 시험(Clogging test) 장치 제원

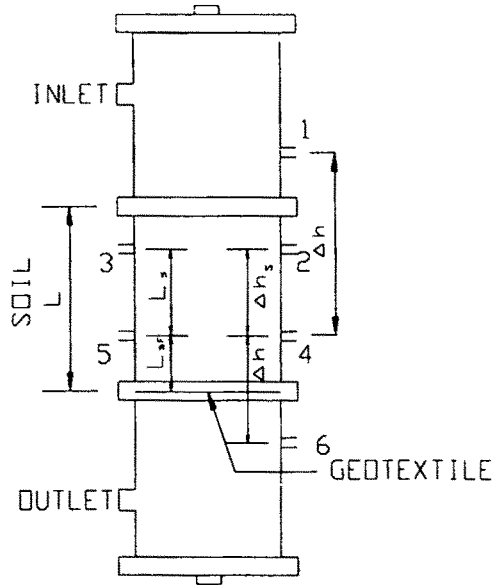


그림 3.4. gradient ratio 계산을 위한 개략도

필터의 구멍 막힘 실험은 다음과 같은 절차에 의해 실시했다.

1) 흙 시료 및 배수 필터재 준비

실험용 흙시료는 단기 실험용으로는 습윤상태의 해성 점토를 중량비 1:1로 표준사와 혼합한 시료를 사용하였고, 장기 실험용으로는 해성 점토만을 이용했다. 배수 필터재는 국내 제품 DH와 국외 제품 GL, TS의 필터를 사용하였으며, 직경(ϕ)을 10cm로 하였다.

2) 실험기 조립 및 배수 필터재와 흙의 setting

- ① 유출장치로 Permeameter에 물을 공급해 Manometer 각 유리관의 수위를 모두 일정하게 한다.
- ② 각 포트구멍을 닫고 상단 cell을 풀고 필터를 중간부 cell의 하단에 조립한다.
- ③ 흙시료를 필터 위에 높이가 10cm가 될 때까지 가볍게 눌러

가면서 cell 내부에 완전히 밀착되도록 성형한다.

- ④ 유출수조에서 물을 흘려 보내면서 흡시료의 포화를 하부에서 부터 서서히 진행시킨다.
- ⑤ 시료내의 물의 흐름을 방지하기 위해 유출장치와 Permeameter사이의 호스를 닫고 유입장치를 통해 상단 유입구로부터 물을 채움으로서 Permeameter안의 수위를 계속해서 높인다.
- ⑥ 유출장치의 위치는 Permeameter 흡시료의 상단부로부터 대략 25mm 정도이고 그 시스템은 물이 흐르지 않는 조건이고 마노미터는 모두 같은 읽음값의 수두이다.
- ⑦ 상단밸브를 닫고 정적인 조건으로 24시간동안 물이 흐르지 않는 조건으로 방치한다.
- ⑧ 1번과 6번 포트를 열어 최초의 동수구배(i)가 1이 되게 조정한다.
- ⑨ Permeameter와 Constant head device장치사이에 물이 흐르도록 밸브를 열고 초기시간을 기록한다.
- ⑩ 시작시간으로부터 0, $\frac{1}{2}$, 1, 2, 4, 6, 24시간에 Manometer의 읽음값를 기록한다.
- ⑪ 다음의 동수경사(i)의 조건에서 계속하여 실험을 실시한다. 장기 실험에서는 일정한 상태를 계속 유지한다.

이 실험에 의한 결과는 다음과 같이 계산한다.

동수구배(i)를 구하는 공식은 식(3.1)과 같다.

$$i = \frac{4h}{L} \quad (3.1)$$

여기서, Δh : 흡시료층에 대한 Manometer 읽음의 차이(cm),

L : Manometer 사이의 흡 두께 또는 길이(cm).

동수구배율(GR)을 산정하기 위해서는 식(3.2)를 이용한다.

$$GR = \frac{\left(\frac{\Delta h_{sf}}{L_{sf}}\right)}{\left(\frac{\Delta h_s}{L_s}\right)} = \frac{L_s \Delta h_{sf}}{L_{sf} \Delta h_s} \quad (3.2)$$

여기서, $\Delta h_s = \frac{(M_2 - M_4) + (M_3 - M_5)}{2}$

$$\Delta h_{sf} = \frac{(M_4 - M_6) + (M_5 - M_6)}{2}$$

(M_n : Manometer 읽음값(cm), n 은 Manometer번호), $L_s := 2.5\text{cm}$,

$L_{sf} := 5.0\text{cm}$)

장 등(1996)은 모래와 점토를 1:1의 비율로 혼합하여 시료를 사용하여 0.3kg/cm^2 의 하중을 가하여 시료의 높이를 10cm가 될 때까지 압밀시킨 뒤 필터의 구멍 막힘 시험을 실시했다. 그림 3.5에는 3종류의 PD재에 대하여 동수구배 $i=2.5, 5.0$ 의 조건에서 실험한

결과를 나타낸다(장 등, 1996).

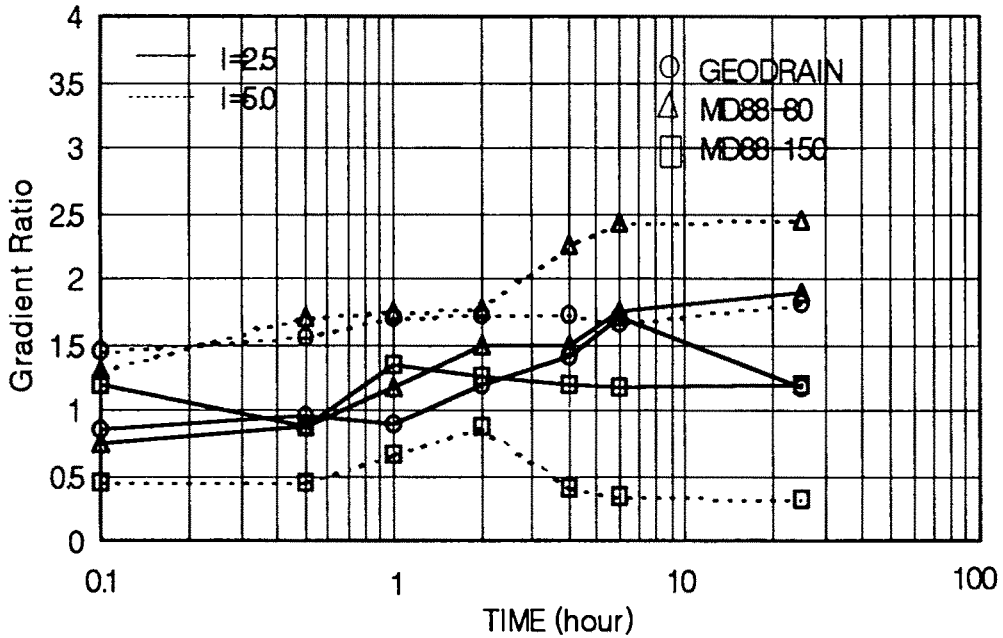


그림 3.5 PD재 필터의 구멍 막힘특성(장 등, 1996)

그림 3.5에 나타낸 바와 같이 i 가 증가할 수록 높은 동수구배율 (gradient ratio)을 나타내어 구멍 막힘현상이 증가하는 것으로 사료되나, 전반적으로 동수구배율이 3.0의 값에 크게 미달되므로 문제가 없음을 알았다. 그러나, 실험의 편의를 도모하기 위해 모래와 점토를 1:1로 배합한 시료는 현장의 저습담 시료조건과 다른 특성을 나타낼 수 있으므로 대표적인 저습담의 흙시료를 그대로 이용하여 구멍 막힘특성시험을 실시하는 것이 합리적일 것으로 판단되어 본 연구에서는 실제 저습담에서 채취한 점성토를 대상으로 시험을 실시하였다.

그림 3.6에는 Rao et al.(1991)에 의하여 세립토 함유율에 따른 동수구배율의 변화와 본 연구에서 대호지구 점토시료와 PD재로 DH재를 대상으로 동수구배 i 가 1.0과 2.5의 조건에서 경과시간별 동수구배율을 나타내었다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 세립토의 함유율이 증가할수록 구멍 막힘현상이 증가하며, 동수구배 i 가 증가함에 따라 동수구배율이 증가하여 구멍 막힘현상이 높아지는 경향을 나타냈다. 그러나, 모든 시험조건에 대해서 동수구배율이 3.0이하의 값을 나타내어 구멍 막힘현상에 대하여 안전한 값을 나타냈다.

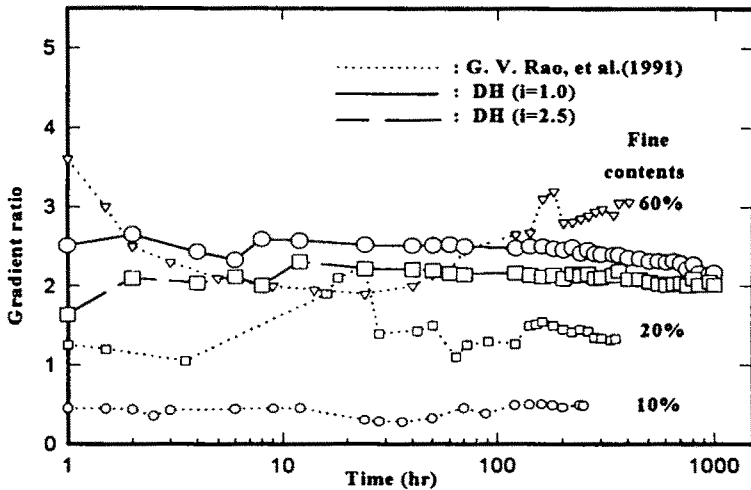


그림 3.6 필터의 구멍 막힘 특성

물론, 대상토의 토질특성 및 배수 필터재의 유효공경(open size)에 따라 구멍 막힘 현상이 다소 달라지겠지만 필터 중 최소의 투수계수를 나타낸 DH재가 구멍 막힘현상에 대해서 안전하다는 사실은 다른 모든 제품에 대해서도 저습담에서와 같이 낮은 동수구배를 갖는 조건에서는 구멍 막힘에 대해서 안전하다고 추찰된다. 또한

구멍 막힘 현상에 따른 기능저하현상은 시간의 경과와 더불어 심해질 것으로 판단되므로 단기간의 시험결과로 판단하는 것은 문제가 있다고 사료된다. 따라서, 저습담의 토양을 대상으로 장기적인 구멍 막힘 시험을 실시하여 그 현상을 정확히 파악할 필요가 있다고 사료되어 목포시료와 대호시료를 대상으로 전술한 시험방법으로 동수구배 $I=5.0$ 의 조건으로 약 7개월에 걸친 장기간 구멍 막힘 시험을 실시하여 그 결과를 그림 3.7에 나타냈다.

그림 3.7에서 알 수 있는 바와 같이 약 7개월(213일)간의 구멍 막힘(Clogging)시험 결과 시험재료로 이용한 대호 및 목포시료 모두 약 1,000시간(42일)까지는 시험시료중의 기포가 불완전하게 제거되는 등의 문제에 기인하여 높은 수치의 동수구배율을 나타내는 등 불

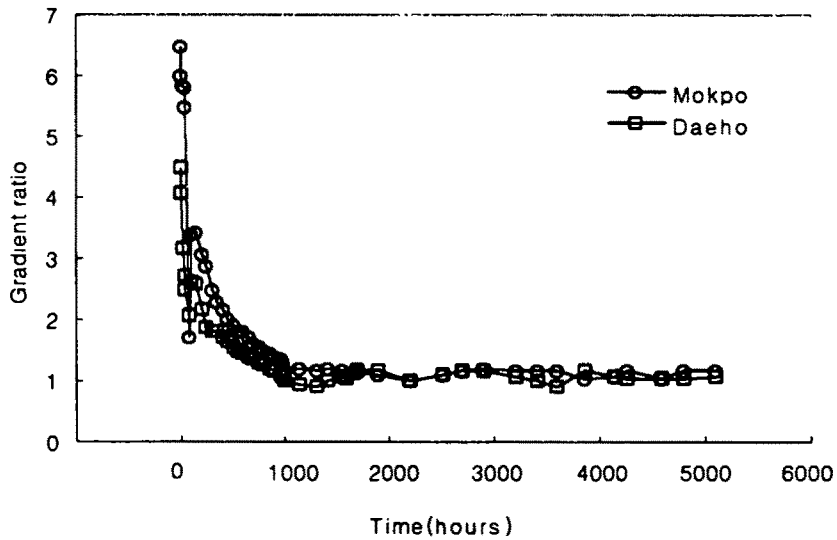


그림 3.7 장기간 필터의 구멍 막힘 시험 결과

안정한 상태를 나타내고 있으나, 그 이후는 동수구배율이 약 1을 나타내며 안정한 상태로 유지되고 있음을 알 수 있다. 물론 수년

간에 걸친 장기간의 구멍 막힘시험을 실시하여 정확한 특성을 규명하는 것이 원칙이나 본 연구에서는 연구기간의 제약으로 경과시간을 약 7개월로 제한하였으나, 전반적인 경향을 볼 때, 경운작업 등의 외적요인에 의한 PD의 찢어짐 등 손상이 발생하지 않는 한, 필터의 구멍 막힘에 기인된 배수성능저하는 저습답에서 거의 발생할 가능성이 적다고 판단된다.

嘉門(1985)에 의하면 필터재의 두께가 0.3~0.5mm 정도로 얇기 때문에 구멍 막힘현상에는 큰 문제가 없음을 지적하고 있으며, 朴(1994)은 PD재로는 국외제품인 CS를, 흙 시료로서는 조건이 매우 나쁜 고소성의 점토인 有名점토(자연함수비 $w_n=134\%$, 액성한계 $w_L=97\%$, 소성지수 $I_p=54\%$, 흙의 비중 $G_s=2.62$, 압밀계수 $c_v = 162\text{cm}^2/\text{day}$)를 사용하여 연직배수공법의 대규모 실내모형시험을 실시하였다. 실험조건은 높은 압밀압력($p=3\text{kgf}/\text{cm}^2$)아래에서 3년간의 장기간에 걸친 압밀시험이다. 이 결과 3년간의 시험후에 필터의 표면에 많은 세립자가 부착되어 있음이 육안 관찰되었고, 세립자가 부착된 상태, 즉 구멍막힘(clogging)현상이 충분히 발생한 시료를 시험후 시료로 선정하여 시험전, 후의 필터에 대한 투수계수를 측정한 결과를 그림 3.8에 나타낸 것과 같이 제시하고 있다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 필터의 구멍 막힘현상에 기인한 투수능력의 저하는 크지 않는 것으로 나타났으며 이 결과 역시 PD재를 배수개선재로 사용하여도 문제가 거의 없는 것을 시사하고 있다.

Koda 등(1986)은 유기질토 중에 연직배수재로서 PD재를 이용하여 560일 경과한 후의 굴곡 등의 영향을 받은 상태에서 통수능력(Q_w)을 측정한 결과 초기치의 약 1/3의 값을 유지하고 있음을 나

타냈다. 赤井(1993)는 농업용 암거 배수용으로 개량PD재(폭을 기존의 3mm 에서 12mm로 증대)를 사용하여 8개월에 걸친 장기 배수 시험 결과 필터 구멍 막힘의 발생이 없이 우수한 배수성능을 유지하고 있다고 보고하고 있다. 상기의 결과를 종합해 볼 때 저습답에 설치한 PD재에 있어서 필터의 구멍 막힘현상에 대한 영향은 적을 것으로 판단된다.

종래의 PVC유공관에 의한 저습답을 개량한 경우에는 바늘뜸 사이 및 필터재 불량 등에 기인하여 구멍 막힘 현상이 다수 발생하여 배수재로써 기능저하가 종종 나타났다. 이 경우 진공펌프 및 콤프레셔 등을 이용하여 드레인재의 기능회복을 도모하는 시도를 한 예(兼子 등, 1995)도 있다. PD재에 대해서는 이와 같은 노력은 불필요한 것으로 판단된다.

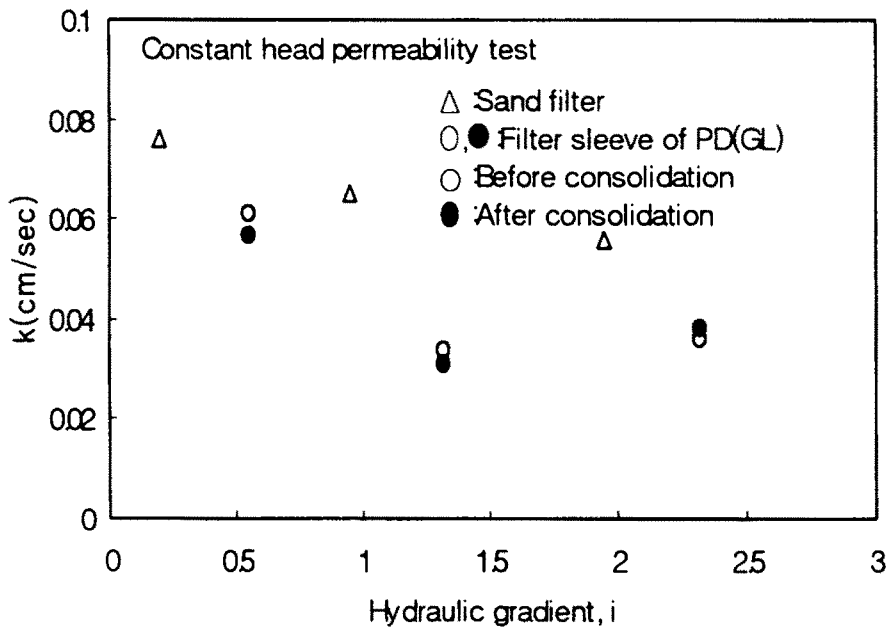


그림 3.8 장기(3년간) 배수시험 전, 후의 필터의 투수계수 비교(朴, 1994)

제 4 장 플 라 스틱 드 레 인 의 통 수 능 력

제 1 절 서 설

PD재를 수평으로 타설하여 저습답의 배수개선을 실시함에 있어서 PD재 내부에서는 간극수의 흐름에 대한 저항, 즉 웰 레지스탕스(well resistance)의 영향이 작용하게 되므로 이의 영향을 고려하여 적합한 PD재 1본의 길이를 산정하여야 하고 현장조건에 적합한 동수구배 및 측압 조건하에서 시험을 실시할 필요가 있다. 이와 같은 제반조건의 정확한 적용으로 PD재를 저습답 배수개선사업에 있어서 종래 흡수관 대응으로서의 유효활용이 가능하다는 것을 입증할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 국, 내외의 대표적인 PD재를 대상으로 수평방향 즉, 심체(core)의 통수능력을 확인함과 동시에 종래의 PVC 유공관의 통수능력을 산정하여 비교, 검토하였다.

PD재의 통수능력시험을 실시하기 위하여 본 연구에서 고안, 제작한 특수 대형 코어 통수능력 시험장치($A \times B \times H = 1.0 \times 2.0 \times 0.5\text{m}$)를 이용하였다. 그림 4.1에는 대형 코어 통수능력시험장치도를 나타낸다. 이 장치는 지금까지 국내, 외에서 실내시험으로 실시한 예가 없는 실물길이의 PD재를 이용하여 통수능력을 직접 산정하기 위하여 중앙부에 직경 1m의 PD지지대가 장착되어 있으며 PD재가 이 지지대에 1회전시키면 3.14m가 되므로 길이가 긴 PD재의 통수능력시험까지도 직접 실내에서 실시할 수 있게 되어 있다.

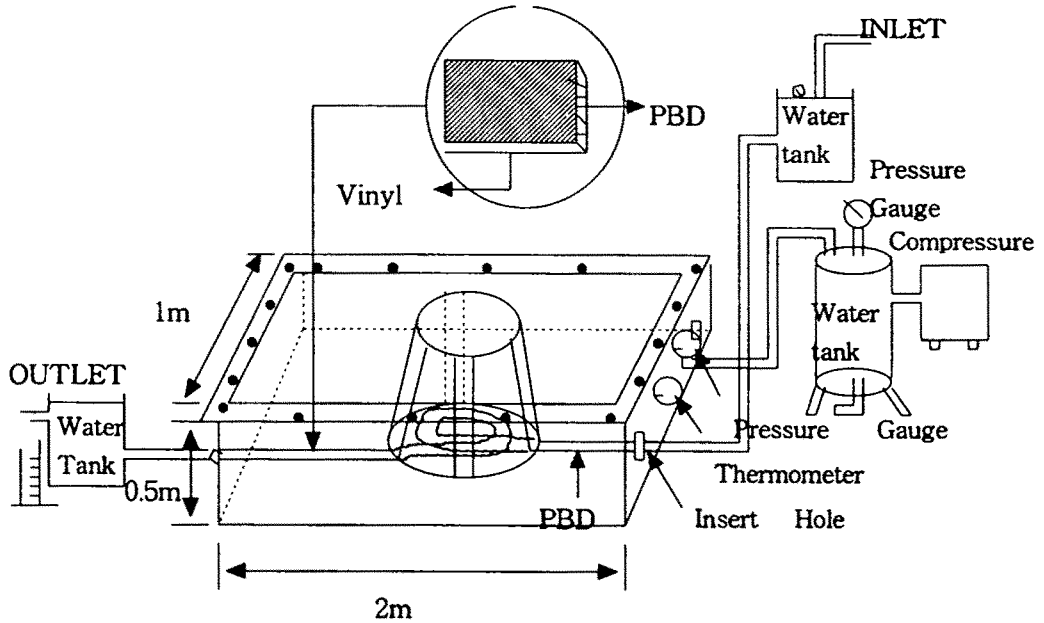


그림 4.1 대형 PD재 코어 통수능력 시험장치 개략도

통수능력시험조건은 정수위 시험법을 이용하여 실시하며, 유출입 수조(A×B×H=0.3×0.3×0.3m)는 크기로 하였고, 연결호스는 직경 3cm를 사용하여 장치에 의한 손실수두가 발생하지 않도록 유출입 수조에 의해 동수구배를 자유롭게 조절할 수 있도록 지지대를 만들고 PD재에 가해지는 축압은 콤프레서를 압력수조에 연결시켜 수도수를 이용하여 가해지도록 하였으며, 압력은 regulator를 이용하여 조절하였다.

실험은 PD재의 길이를 2m, 10m, 20m, 50m의 조건으로 하고, 동수구배는 현장과 같은 범위인 0.005~0.015의 범위에서 실시하였으며, 축압은 0.2kgf/cm², 0.5kgf/cm² 및 1.0kgf/cm²로 실시하였다.

호스와 PD재간의 연결부는 축압에 의한 영향을 받지 않게 고무밴드 등으로 밀봉하였으며, PD재 주위는 축압전달이 가능하며, 축압

수가 PD재 내부로 스며들지 않게 하기 위하여 비닐관($t=0.5\text{mm}$)을 이용하여 밀봉시켰다.

시험시에 유입수조의 높이가 측압의 범위를 넘지 않게 하여 절대수두를 맞추었으며, 셋팅 후 수도수로 측압을 가한 후 측압이 일정해 지기를 기다렸다가 통수능력을 측정하였다. 통수량을 측정하기 위한 준비 단계에서는 PD재를 통과한 유량 속에 공기의 발생이 생기는 것을 배제하기 위하여 통수개시 후 2시간이 경과한 다음에 측정하였다. 결과치를 얻기 위한 통수량 측정은 눈금이 새겨진 1,000cc용량의 매니스커스를 이용하였으며, 측정된 유량은 온도에 따른 점성보정을 실시하여 15°C 의 통수량으로 환산하였다.

제 2 절 밴드형 PD의 통수능력

그림 4.2에는 동수구배 $i=0.005$ 인 조건에서 측압의 변화에 따른 통수능력(Discharge capacity, Q_v =단위 통수량 Q / 동수구배 i)의 변화를 그림으로 나타낸 것이다. 측압 0.2kgf/cm^2 에서 통수능력 Q_v 는 PD의 길이와 종류에 따라 다르지만 $209\sim 346\text{cm}^3/\text{sec}$ 의 범위를 나타냈으나, 측압이 1.0kgf/cm^2 로 증가함에 따라 $148\sim 236\text{cm}^3/\text{sec}$ 의 범위로 저하함을 나타냈다. 측압의 증가에 따른 통수능력 Q_v 의 저하경향은 거의 직선적으로 나타났다. 측압증가에 따른 통수능력의 저하는 측압에 의해서 유로 단면적이 감소하기 때문에 발생하며, 초기에 높은 Q_v 값을 보이다가 높은 측압에서 급격히 감소하는 종류와 측압의 변화에 따른 Q_v 의 변화가 적은 종류들로 구분되며 이들은 코어의 연경도 및 형상과 필터의 재질에 따라 다르다.

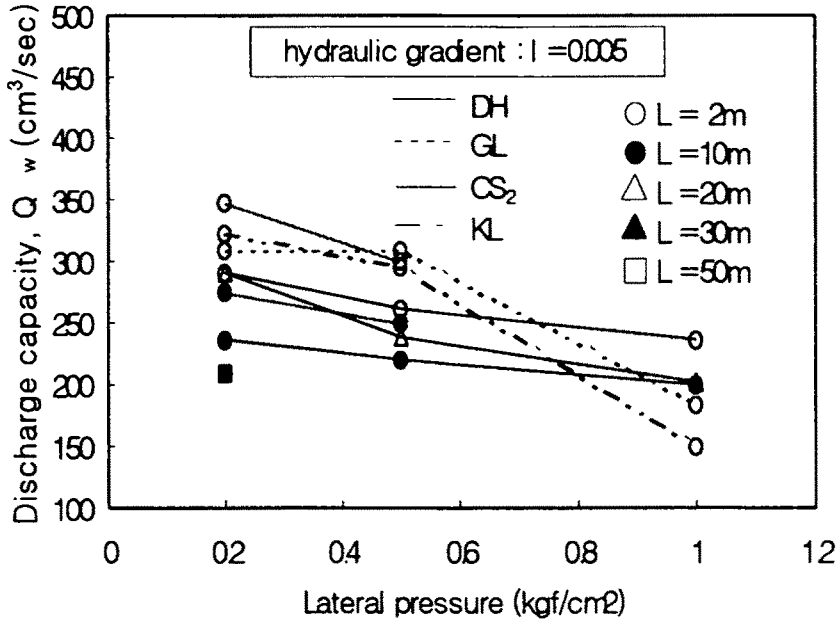


그림 4.2 측압변화에 따른 통수능력의 변화 ($i=0.005$)

그림 4.3에는 동수구배가 그림 4.2에 비하여 20배나 크며 상대적으로 높은 동수구배인 $i=0.1$ 의 조건하에서 측압변화에 따른 통수능력의 변화상태를 나타낸 것이다. 동수구배 $i=0.1$ 에서 측압이 0.2kg/cm^2 의 경우는 $Q_w=159\sim 200\text{cm}^3/\text{sec}$ 의 범위를 보이며 측압이 1.0kg/cm^2 로 증가했을 경우에는 $Q_w=98\sim 120\text{cm}^3/\text{sec}$ 의 범위를 나타냈다. 그림 4.2와 4.3의 양 그림을 비교해 볼 때 동수구배가 클수록 동일 길이 및 측압에 대해 상대적으로 낮은 통수능력을 보이며, 측압증가에 따른 통수능력의 저하폭이 크게 나타났다. 이는 동수구배가 클 경우 PD재 내부의 흐름상태가 불완전함에 기인하는 현상이라 할 수 있다. 다른 동수구배 조건에서의 시험결과도 위의 현상과 유사한 경향을 보였다.

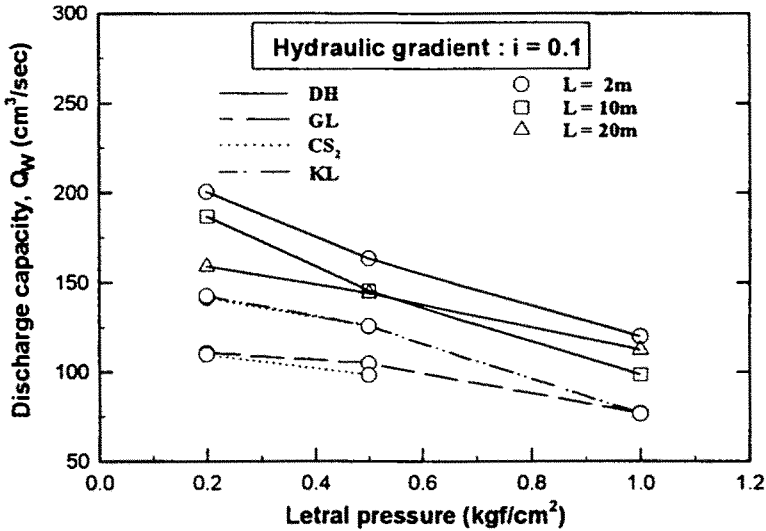


그림 4.3 측압변화에 따른 통수능력의 변화($i=0.1$)

그림 4.4와 4.5에는 측압 0.2kgf/cm^2 및 0.5kgf/cm^2 의 조건에서 5가지 조건의 동수구배 ($i=0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 1.0$) 상태에서 PD재의 길이별로 통수능력을 산정한 결과를 나타낸다. 두 그림에서 동일 동수구배에 있어서 PD재의 길이가 증가됨에 따라서 통수능력이 저하됨을 알 수 있다. 길이의 증가에 따른 통수능력의 저하는 PD내부의 마찰손실수두가 증가되는 것을 의미한다.

실제 현장조건과 유사한 측압 0.2kgf/cm^2 의 동수구배 $i=0.01$ 인 경우 DH재의 길이 $L=2\text{m}$ 에서 10m 로 변화함에 따라서는 통수능력 Q_w 가 $250\text{cm}^3/\text{sec}$ 에서 $217\text{cm}^3/\text{sec}$ 로 저하하고 상대적으로 긴 길이의 차이를 가진 10m 와 50m 의 통수능력은 각각 $Q_w=217\text{cm}^3/\text{sec}$ 와 $191\text{cm}^3/\text{sec}$ 를 나타내어 상대적으로 낮은 통수능력의 저하를 볼 수 있다. 여기서 주목되는 사항은 길이 2m 의 실내시험 결과를 기준으

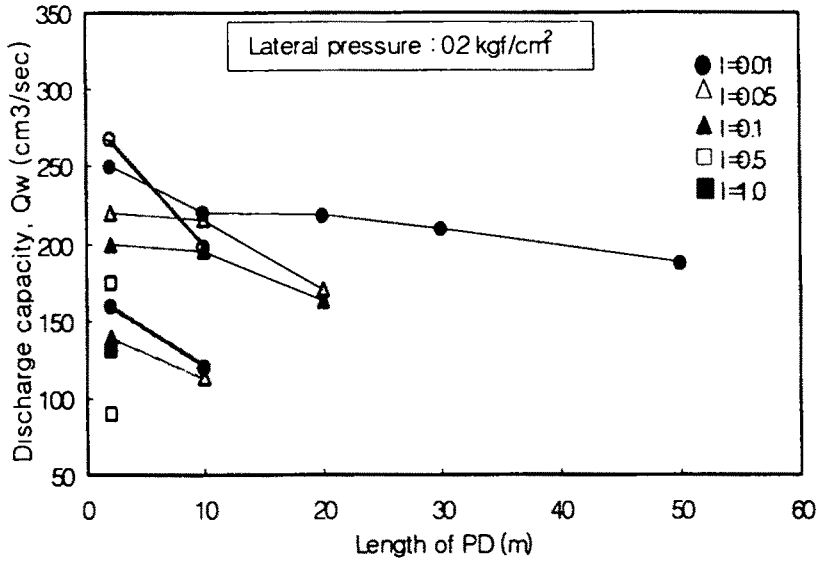


그림 4.4 PD재의 길이별 통수능력의 변화 (측압: 0.2kgf/cm²)

로 할 때 PD재의 길이가 5배인 L=10m의 통수능력 저하는 13%임에 대하여 길이의 증가가 25배인 L=50m의 통수능력은 24%가 저하된 값을 나타내므로 길이의 증대에 따른 마찰손실수두가 일정하지 않음을 알 수 있는 것이다. 일반적으로 길이의 증가에 따른 통수능력의 저하는 PD재 내부의 마찰손실수두의 증가에 기인함을 의미한다. 식(4.1)은 Darcy-Weisbach에 의한 마찰손실수두의 산정식을 나타낸다.

$$\Delta h = f \frac{1}{nD} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (4.1)$$

여기서, f: 마찰손실수두 ($= \frac{124.6n^2}{D^{1/3}}$), n: 조도계수,

S: PD 홈의 개수, d: 홈 1개의 환산직경,

l : 길이, v : 유속 등이다.

식에서 알 수 있는 바와 같이 마찰손실수두는 길이에 정비례함을 알 수 있으나, 산출결과는 다소 상이하다. 또한 이는 길이가 증가함에 따라 통수능력이 직선적으로 저하되지 않는 사실을 시사하고 있다.

즉, 길이 L 에 대하여 1차원적으로 마찰손실수두가 증가된다는 현상을 PD재의 배수성능에 적용하는데는 문제가 있음을 나타낸다.

측압 0.5kgf/cm^2 에 있어서도 동수구배 i 에 관계없이 측압 0.2kgf/cm^2 에 대한 결과와 유사한 경향을 나타냈으며 길이 $L=10\text{m}$ 인 경우와 $L=20\text{m}$ 인 경우의 통수능력의 차이는 거의 없다. 따라서 여기서도 상기 그림 4.4를 대상으로 설명한 현장 실물대형의 PD재 길이에 대해서도 영향이 거의 없음을 입증하고 있다.

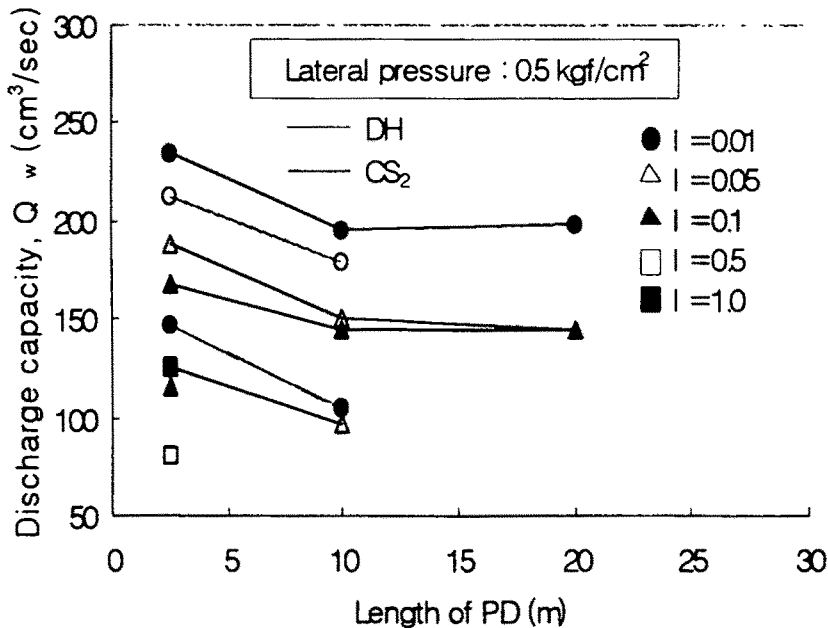


그림 4.5 PD재의 길이별 통수능력의 변화 (측압: 0.5kgf/cm^2)

지금까지 많은 연구자들에 의해 실시된 실내시험에 있어서는 PD재의 길이를 1m이하로 하여 측압, 동수구배 및 PD재의 길이의 영향 등을 거론하고 있으나 실물길이를 직접 이용한 본 시험결과 작은 길이 L에 대해서는 웰 레지스턴스의 변화현상이 크지만 현장에 타설될 수 있는 길이 조건에 대해서는 통수능력에 미치는 길이의 영향이 그다지 크지 않음을 나타냈다. 상기의 결과를 종합하면 실제 현장에서 PD재 1본의 길이를 설정함에 있어서는 저습담의 규격 및 간극수 및 지표수의 필요 배제량에 주안점을 두어 30~50m의 범위에서 적의 조절하여도 무방하다고 사료된다.

그림 4.6과 4.7은 PD재의 길이 L=2m와 10m에 대하여 3조건의 측압(0.2kgf/cm², 0.5kgf/cm², 1.0kgf/cm²)상태에서 동수구배(i)의 변화에 따른 통수능력의 변화상태를 나타낸 것이다. 그림4.6에서 알 수 있는 바와 같이 동수구배 i가 0.1이하의 범위에서는 동수구배의 증가에 따라 통수능력 Q_v가 현격히 저하한다.

동수구배 i의 범위가 0.1에서 0.5까지는 층류상태를 유지하므로 Q_v의 변화는 거의 없으나 동수구배 i=1.0일때는 PD재 내부의 흐름이 불완전상태를 유지하므로 통수능력 Q_v가 약간 감소하는 경향을 나타냈다. 통수능력 Q_v가 안정치를 취한 동수구배 i=0.1에서는 통수능력 Q_v=76~200cm³/sec의 범위를 나타내나 동수구배 i가 1.0인 경우는 통수능력 Q_v=56~130cm³/sec로 동수구배 i=0.1에 대하여 약 70%값을 나타내며, 저하경향이 PD재의 종류에 무관하게 유사한 경향을 나타낸다.

그림 4.7에서는 길이 L=10m에 대해서 동수구배 i=0.005~0.1의 범위에 대한 통수능력시험결과이다. 이 그림에서 동수구배 i=0.005~0.1의 범위에서 큰 저하량을 나타내며 3배의 동수구배

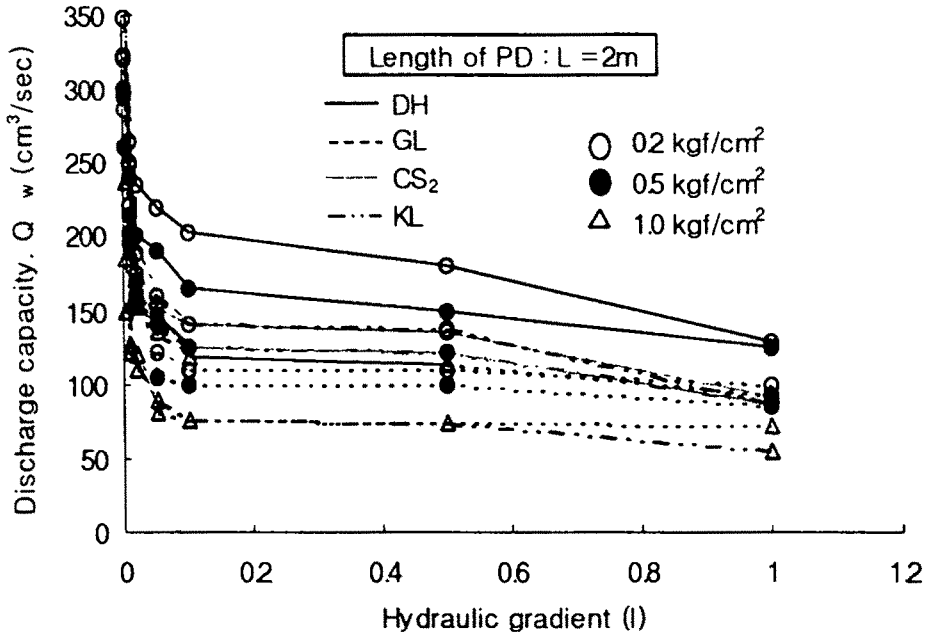


그림 4.6 동수구배에 따른 통수능력의 변화 (L=2m)

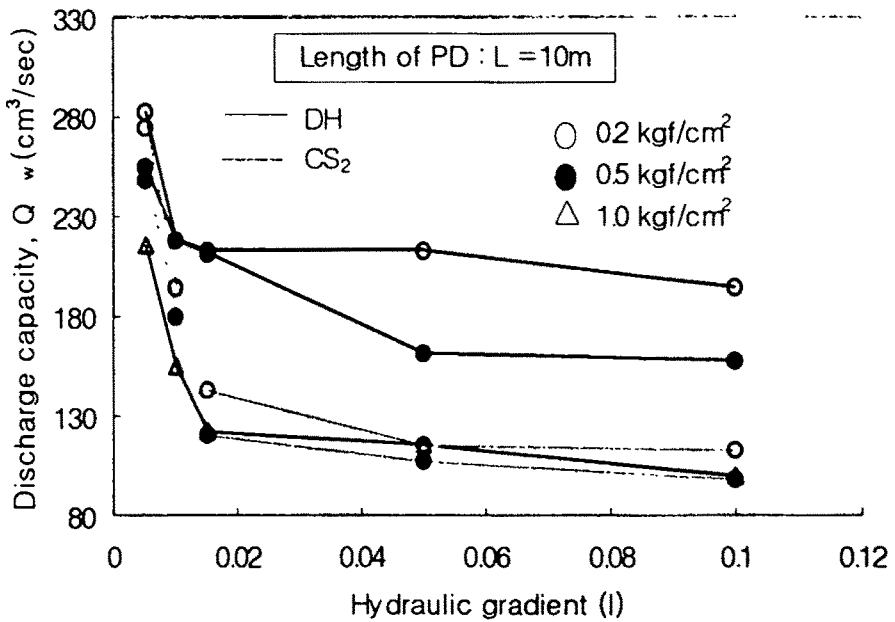


그림 4.7 동수구배에 따른 통수능력의 변화 (L=10m)

증가에 따라 PD의 종류마다 다소 다른 값을 나타내며 55~74%의 값을 보인다. 그 반면에 동수구배 i 가 0.015에서 0.1로 7배 증가한 경우에 저하한 통수능력 Q_w 율은 약 82~92%로 저하폭이 적음을 알 수 있다. 따라서, 길이에 대한 동수구배율을 일률적으로 적용하는 데는 문제가 따르며 저습답의 현장여건에 맞는 수두차의 크기에 중점을 두어 통수능력을 산정함이 바람직하다고 판단된다.

그림 4.8과 4.9에는 길이 $L=2m$ 와 $10m$ 에 대한 동수구배와 유량의 관계를 나타낸다. 길이 $L=10m$ 에서는 낮은 동수구배 조건이어서 동수구배와 유량이 직선의 관계를 나타내고 있음에 반하여, 길이 $L=2m$ 에 대해서는 높은 동수구배 $i=1.0$ 까지 변화시키면서 유량을 구하였기 때문에 층류에서 난류로 변화되어 가는 과정에서 유량과 동수구배의 관계는 곡선적인 증가를 나타냄을 알 수 있다. 이와 같이 PD재 내부의 물의 흐름이 난류로 됨에 따라 유량은 감소한다.

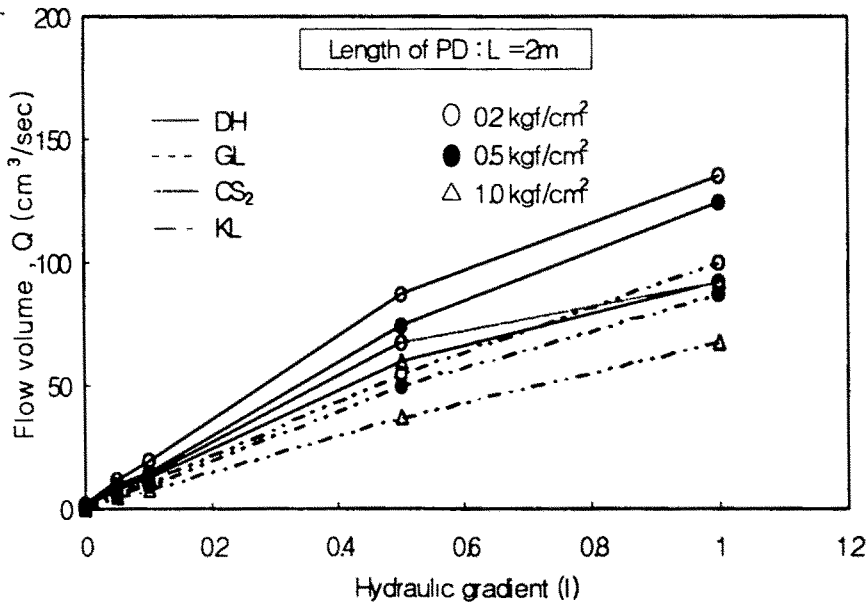


그림 4.8 동수구배와 유량의 관계 ($L=2m$)

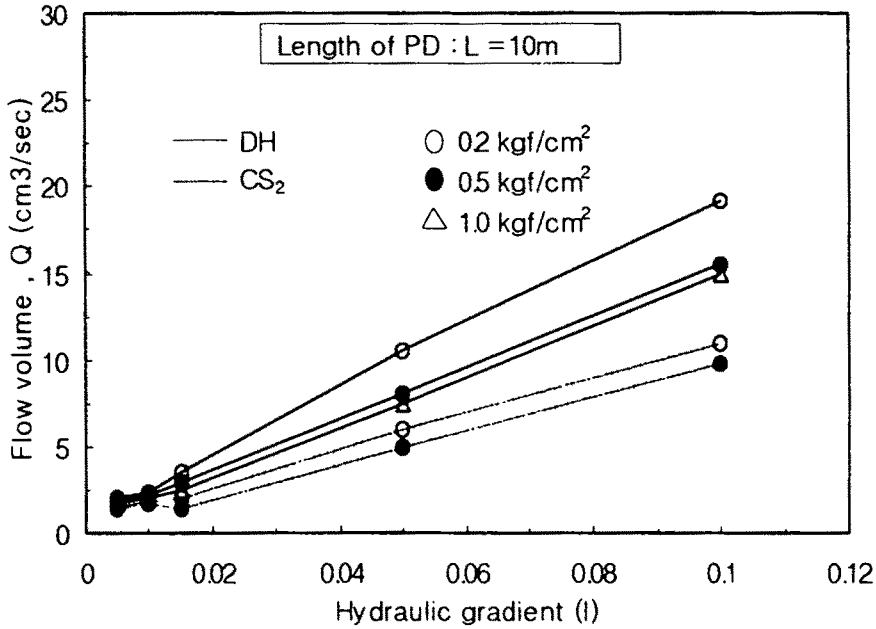


그림 4.9 동수구배와 유량의 관계 (L=10m)

그림 4.8과 4.9에는 길이 L=2m와 10m에 대한 동수구배와 유량의 관계를 나타낸다. 길이 L=10m에서는 낮은 동수구배 조건이어서 동수구배와 유량이 직선의 관계를 나타내고 있음에 반하여, 길이 L=2m에 대해서는 높은 동수구배 $i=1.0$ 까지 변화시키면서 유량을 구하였기 때문에 층류에서 난류로 변화되어 가는 과정에서 유량과 동수구배의 관계는 곡선형태로 증가됨을 알 수 있다. 이와 같이 PD재 내부의 물의 흐름이 난류로 됨에 따라 유량은 감소한다.

따라서, 동수구배설정시 수두차 Δh 에 따른 정확한 인식이 필요하며 현장에 적용시에도 이를 충분히 고려할 필요가 있다. 일반적인 동수구배 i 에 관한 이해로는 층, 난류의 해석에 오류를 범할 우려가 있으므로 유의할 필요가 있다.

그림 4.10과 4.11에는 길이 2m의 PD(KL)재를 대상으로 측압 0.2kgf/cm²와 1.0kgf/cm²에 있어서 각 동수구배 i 에 대하여 경과시간별 통수능력의 변화를 나타낸 것이다. 양 그림은 종합적으로 비교, 검토해 볼 때 동일 동수구배에 대하여 측압이 5배 증가함에 따라 통수능력 Q_v 는 약 절반의 값을 나타내어 전술한 측압의 영향과 유사한 결과를 나타내며 경과시간 3~4시간에 따른 통수능력 Q_v 는 변화가 모든 동수구배조건에 있어서 거의 없는 것을 알 수 있다. 따라서 현장에서 일정동수구배가 유지되는 한 통수능력은 일정하게 됨을 추찰할 수 있다.

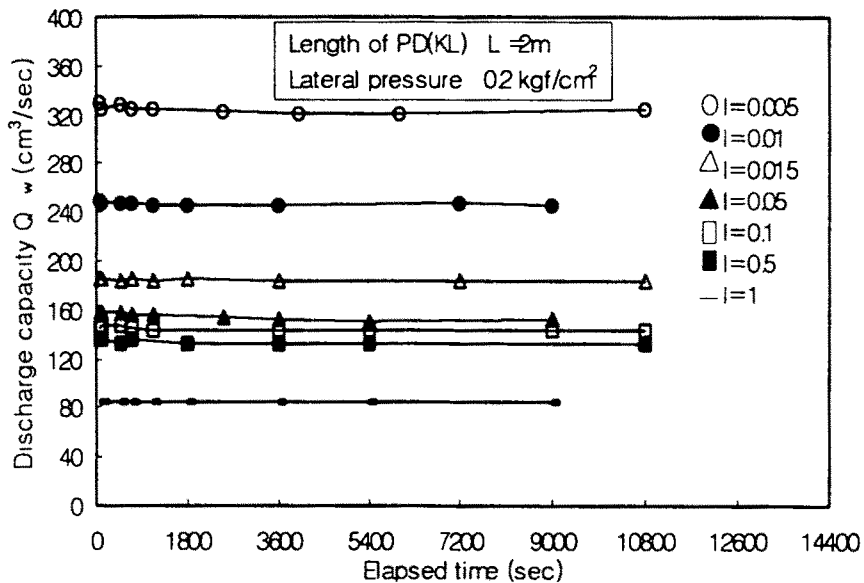


그림 4.10 경과시간과 통수능력 관계 ($p=0.2 \text{ kgf/cm}^2$)

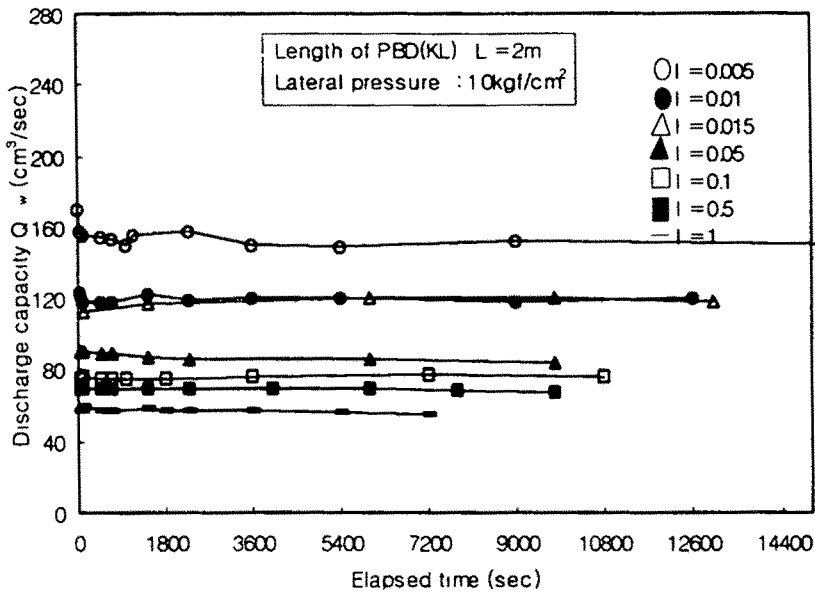


그림 4.11 경과시간과 통수능력 관계 ($p=1.0\text{kgf/cm}^2$)

제 3절 원형 PD의 통수능력

원형 드레인(circlic drain)을 이용하여 저습답의 배수개선을 실시할 경우 판형의 PD재와의 통수능력을 비교, 검토하기 위하여 프랑스제품인 메너드 드레인(MCD)재를 대상으로 실내시험을 실시했다. 현장조건에 적합하게 길이와 동수구배별 통수능력시험을 실시하였으며, 판형의 PD재의 시험과는 달리 MCD재는 재질의 특성상 축압의 영향을 거의 받지 않는다는 가정아래 대형 코아 통수능력 시험장치를 이용하지 않고, PD재 외측에 비닐관($\phi=60\text{mm}$, $t=0.05\text{mm}$)으로 밀봉시켰다. 비닐 밀봉 후에 통수시 비닐관이 수압으로 인한 팽창을 방지하기 위해 면 테이프로 MCD재의 외부를 나선형으로 반복하여 감쌌다.

통수시험은 정수위법을 적용하였으며, 유출·입수조는 $A \times B \times$

H=23×23×34cm의 크기로 하였고 연결호스는 직경이 8cm인 것을 사용하여 PD재 자체의 통수능력에 영향을 주지 않도록 하였다. 이 실험에서 MCD재의 길이 10m, 20m, 30m, 50m의 조건으로 하였으며 동수구배 조건은 0.005~0.1의 범위였다. 통수량을 측정하기 위한 준비단계에서 시험 드레인의 내부의 공기를 완전히 배제시키기 위해 시험재를 유입구쪽에서부터 유출구쪽으로 차츰차츰 높게 들면서 공기를 유도하는 동작을 수 차례 반복하였다. 그 후 약 24시간 동안 방치시켜 내부의 공기가 완전히 배제되었다고 판단되었을 때 비로소 통수시험을 실시하였다. 시험시 드레인재의 굴곡에 의한 통수능력 감소의 영향을 저감시키기 위하여 PD재를 일직선으로 유지한 채 통수능력시험을 실시했다

그림 4.12에는 대표적인 원형 드레인재로 선정된 MCD의 동수구배와 통수능력의 관계를 나타내며, 예상한 바와 같이 MCD재의 통수능력은 판형의 PD재보다 단면이 상대적으로 크므로 매우 큰 통수능력을 나타냈다. 동수구배 $i=0.005$ 에서 $Q_v=66,700\sim71,700\text{cm}^3/\text{sec}$ 로서 그림 4.2에 나타낸 판형의 PD의 최저 측압 $0.2\text{kgf}/\text{cm}^2$ 의 동일 동수구배에 대한 $Q_v=209\sim346\text{cm}^3/\text{sec}$ 에 대한 약 210~320배의 값을 나타내어 10m길이에 대하여 동수구배를 0.1까지 증가시킨 경우에도 $Q_v=15,300\text{cm}^3/\text{sec}$ 를 유지하여 통수능력이 뛰어난을 알 수 있다. 또한, 이에 대한 동수구배의 영향도 2차년도(1996년)의 PD재 시험결과와 유사한 경향으로 동수구배(i) 0.005~0.05범위에서는 급격한 통수능력의 변화가 있고 그 이상의 범위에는 완만한 변화가 있었다. 이들 결과를 종합할 때 저습담배수개선에 원형 PD를 적용하면 매우 뛰어난 기능을 발휘할 것으로 판단된다.

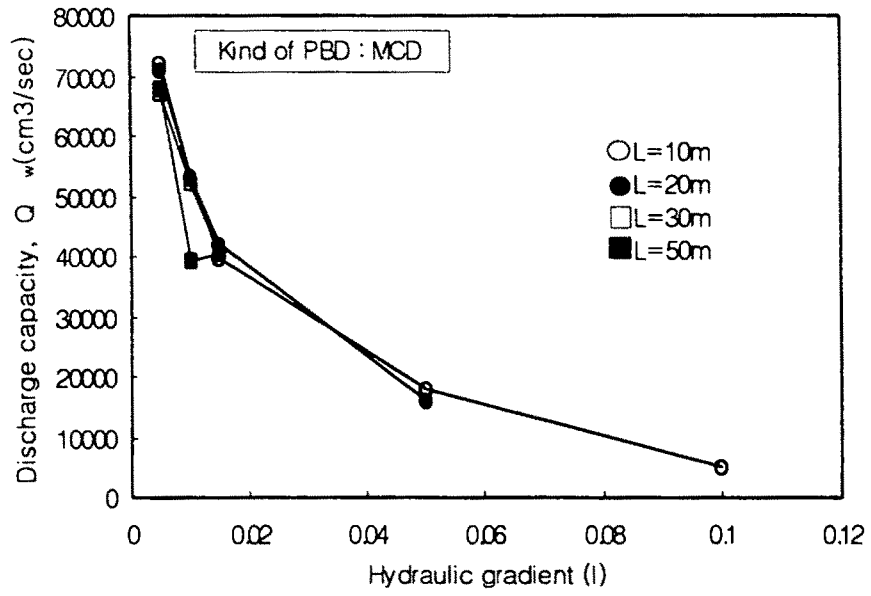


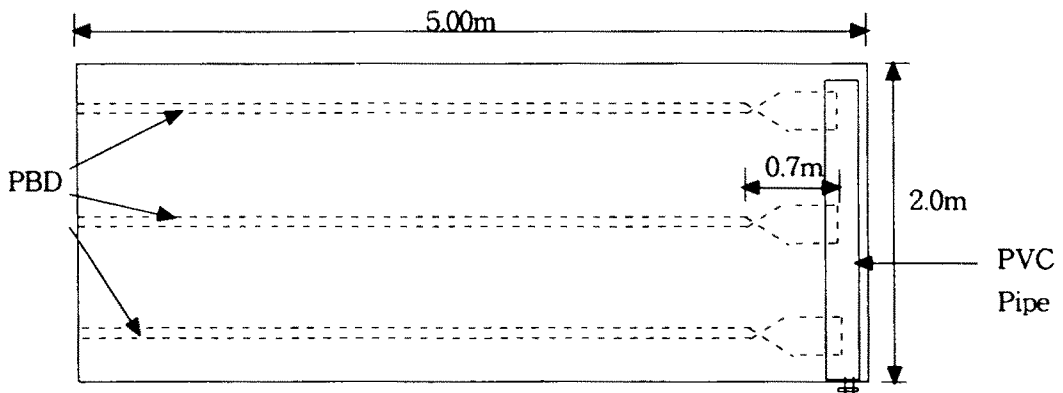
그림 4.12 원형 (메너드 드레인)의 통수시험결과

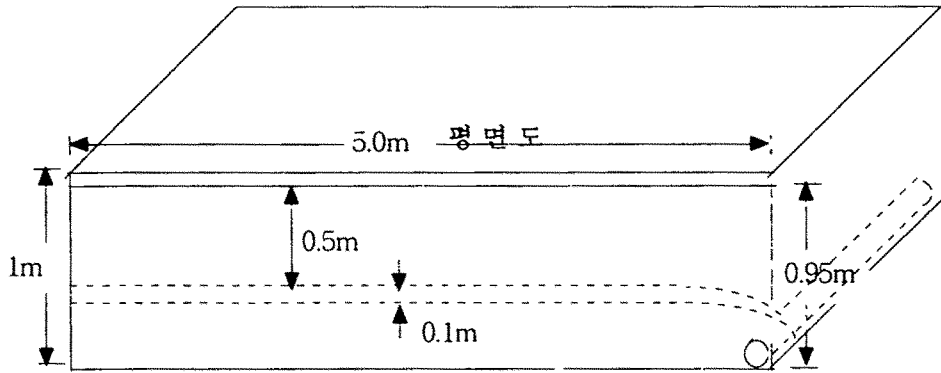
제 5 장 PD재의 복합통수능력시험

제 1 절 시험장치

본 시험장치는 대표적인 저습담의 흙을 대상으로 PD재의 필터와 코어의 복합적인 통수능력을 실내에서 직접 규명하고, PD재와 재래식 압거배수와와의 통수능력을 비교하기 위하여 고안되었으며, 이 시험장치로부터 PD재가 저습담 개량뿐만 아니라 연약한 준설패립 지반에 적용가능한지를 검토하였다.

복합통수능력장치(폭×길이×높이=2.0×5.0×1.0m)는 그림 5.1과 같다. 시험장치의 외부의 일정높이에 미동압력계를 5개 설치하고 피조미터를 4개소 설치하여 간극수압의 경시변화를 측정할 수 있도록 하였으며, 측면에는 아크릴판(폭×높이=20×40cm)을 4개소 부착하여 압밀 진행상태를 파악할 수 있도록 하였고, 배수효과는 PD재 끝단을 PVC 파이프(직경 10cm)에 고정시켜 배수량을 직접 측정하였다.





(b) 측면도

그림 5.1 복합통수능력 시험장치

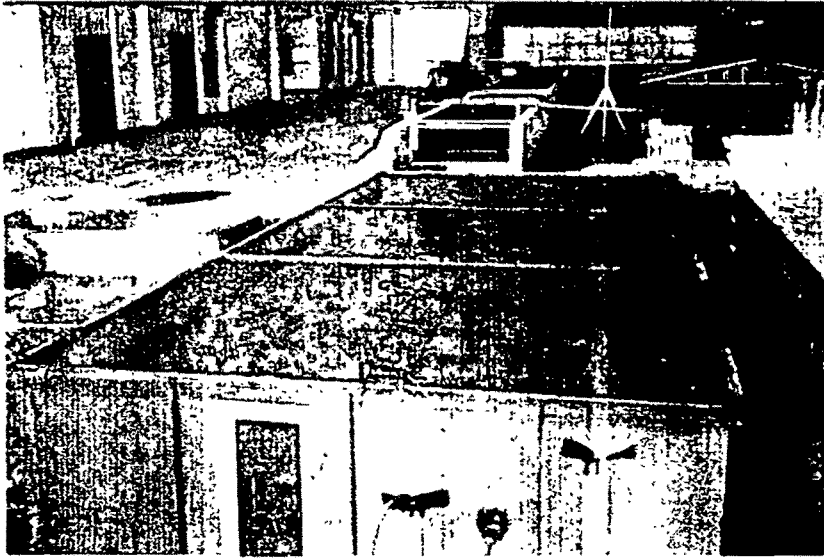


사진 5.1 시험 장치 전경

제 2절 시험 방법

배수재로는 PD재인 밴드형(MW형)과 원형(Menard형)을 사용하였으며, 시험장치의 흙 시료 표면으로부터 50cm 깊이에 인력으로 타설하였다. 시료 투입과 함께 PD재의 설치를 종료한 다음 물을 복합통수능력시험 장치에 공급하여 시료를 포화시킨 다음 배수시험을 실시하였다.

배수량을 측정하기 위하여 PVC파이프 끝단에 직경 1cm의 수도꼭지가 설치되어 있으며 수도꼭을 통해 배출된 물은 배수측정용 용기에 모이도록 하였다.

배수시험은 측정개시부터 2시간 30분까지는 5분 간격, 3시간까지는 10분 간격, 4시간까지는 20분 간격, 5시간까지는 30분 간격, 8시간까지는 1시간 간격, 그 이후는 12시간 간격으로 배수량과 간극수압을 측정하였으며, 양자가 일정한 양에 수렴하면 시험을 중단하였다.

제 3절 토질 특성

1. 실트질 모래

본 시험장치에 적용한 시료는 전북 부안의 새만금 방조제 준설토로 이 시료를 3단계로 나누어 토조($B \times L \times H = 2.0 \times 5.0 \times 1.0\text{m}$)에 높이 0.95m까지 채웠으며, 각단계마다 수도수를 주입하여 시료를 포화시켰다.

또한 약 4일간 방치하여 자중압밀에 의한 공기제거 및 과잉수 배출

을 실시하고 난 후 실험장치 내부의 대표적인 위치(상면에서 0.2~0.3m 깊이)에서의 토질특성은 표 5.1과 같으며, 시료의 입도곡선은 그림 5.2와 같다.

표 5.1 복합시험장치 토조의 토질특성

시료	심도 (m)	입 도(%)			습윤단위 중량 (gf/cm ³)	함수비 (%)	비 중 Gs	통일 분류
		점 토	실 트	모 래				
새만금	0.2~0.3	2.0	37.0	61.0	1.720	34.1	2.640	SM

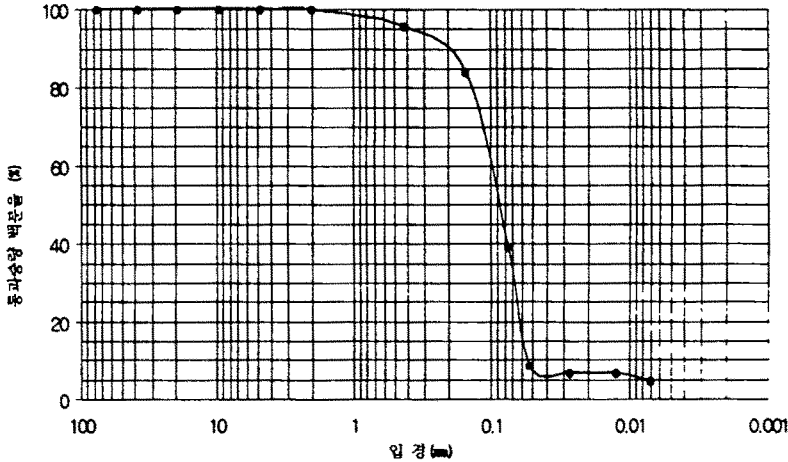


그림 5.2 시험에 사용된 시료의 입도곡선

2. 준설패립점토

본 시험은 고함수비의 연약한 준설패립점토에 PD재를 적용하는 경우의 유효성을 검토하기 위하여 실시하였다. 전술한 토조를 이용하여 현장의 준설패립토 조건으로 시료를 조성하고 압밀침하량과 간극수압 및 배수량을 측정하였다.

또한 준설패립토의 자중압밀을 실험실에서 재현하기 위하여 직경

90mm, 높이 1000mm의 아크릴 원통을 제작하여 토조와 같은 조건으로 컬럼 테스트(column test)를 실시하여 시간경과에 따른 압밀침하량과 간극수압을 측정하였다.

본 실험에 사용된 흙 시료는 안산에 위치한 농어촌연구원내의 간척매립토를 채취하였으며, 시료의 균일성을 확보하기 위하여 #40번 체로 걸러서 준비하고 염분을 첨가하여 토조에 넣어 포화상태가 되도록 3주 동안 수침시켰다. 실험을 실시하기 전에 토조의 시료를 채취하여 물리성 시험을 실시한 결과 토질특성은 표5.2와 같으며, 입도곡선은 그림 5.3과 같다.

표 5.2 복합시험장치 토조의 토질특성

시료	염분 (PPM)	입도 (%)			습윤단위 중량 (gf/cm ³)	액성 한계	소성 한계	소성 지수	함수비 (%)	비중 Gs	통일 분류
		점토	실트	모래							
연구원내 간척매립토	8,640	42.5	54.8	2.6	1.308	54.05	26.2	27.85	218	2.670	CL

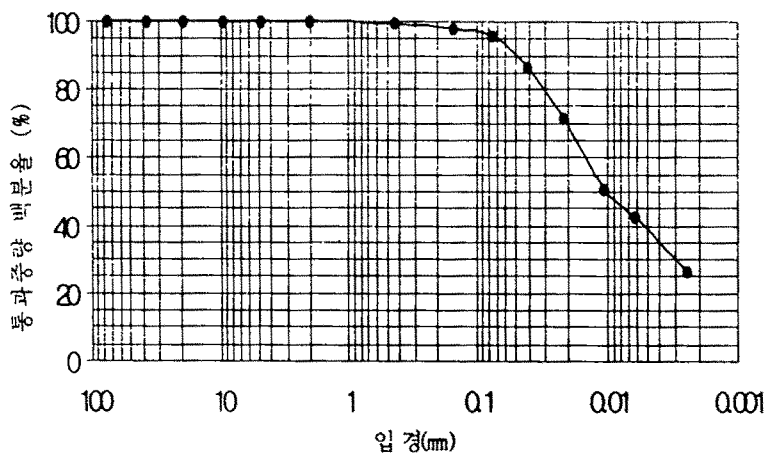


그림 5.3 시험에 사용된 시료의 입도곡선

제 4절 시험결과 및 고찰

1. 실트질 모래

가. 간격에 대한 영향

PD의 타설은 토조의 상면에서 50cm 깊이에 인력으로 타설하였으며, 1차시험에서 PD는 10cm간격으로 9분을 수평으로 타설한 다음 배수시험을 실시하였다.

위의 배수시험이 종료한 다음 같은 방법으로 시료를 다시 포화시키고 PD를 20cm간격으로 7분, 40cm간격으로 5분, 80cm간격으로 3분, 100cm간격으로 2분, 200cm간격으로 1분으로 간격을 늘려가면서 총 6조건에 대한 각각의 배수시험을 실시하였다.

각 간격에 대하여 배수량 시험을 실시한 결과를 그림 5.4에 나타냈다.

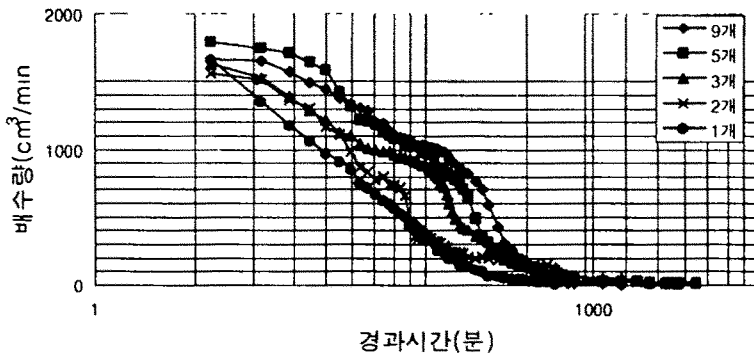


그림 5.4 간격에 따른 배수량

간격에 대한 영향을 검토하기 위하여 각각의 간격에서 배수량이 일정량에 수렴될 때까지의 경과시간을 총 배수량으로 나누어 단위

배수량을 산정하였으며 이를 종축에 나타내고, 타설본수를 횡축으로 하여 그림 5.5와 같이 도시하였다. 그결과 그림과 같이 타설본수가 2본(간격1m)에서 9본(간격10cm)까지는 배수량에 그다지 큰 영향을 미치지 않고 있으며, 타설본수 1본(간격2m)에서 배수량에 큰 영향을 미치고 있다. 대상시료에 따라 상이한 특성이 나타날 수 있겠으나 본 시험결과로부터 현장에서 PBD의 타설 간격은 최대 2m로 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

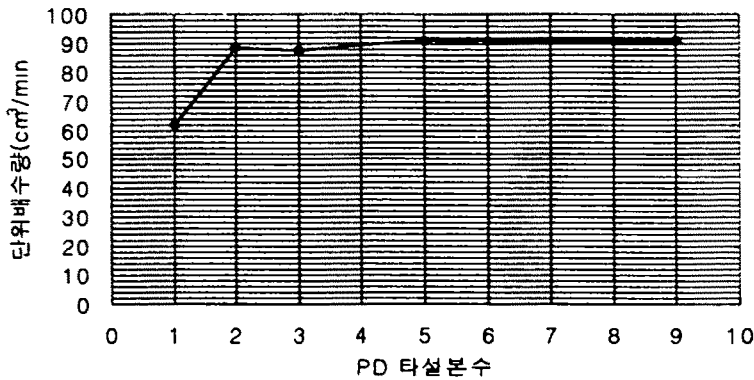


그림 5.5 타설본수에 따른 단위배수량

나. 기존 배수암거와의 비교

PD재(밴드형(PBD) 및 원형(Menard)의 배수성능을 종래의 PVC 유공관과 비교하기 위하여 동일한 조건으로 토조 폭의 중앙에 1본을 수평으로 설치하여 배수시험을 실시하였으며, 그 결과는 그림 5.6과 같다.

이 그림으로부터 원형PD재와 PVC 유공관은 배수량이 거의 비슷하나, 밴드형 PD재와는 상당한 차이를 나타내고 있다. 이는 드레인 표면적에서는 밴드형인 PBD가 원형 PD나 PVC유공관과 유사하나 유로단면적이 상대적으로 작으므로 통수능력이 낮게 된 결과이다. PBD의

배수량이 계획배수량을 상회한다면 기존의 배수암거 보다 시공성이 용이할 뿐만 아니라 경제적이다.

다. 설치형태에 따른 배수효과

PBD의 타설에 있어서 면을 세워서 설치하는 경우(연직설치)와 눕어서 설치하는 경우(수평설치)를 상호 비교하였으며, 그 결과는 그림 5.7과 같다.

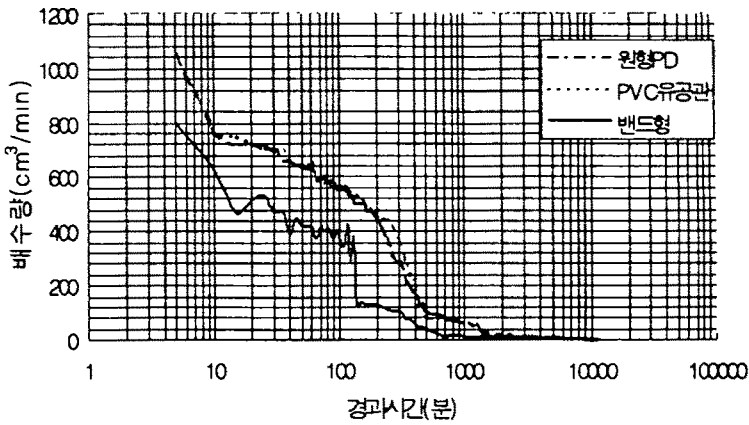


그림 5.6 PD재와 재래식 유공관과의 비교

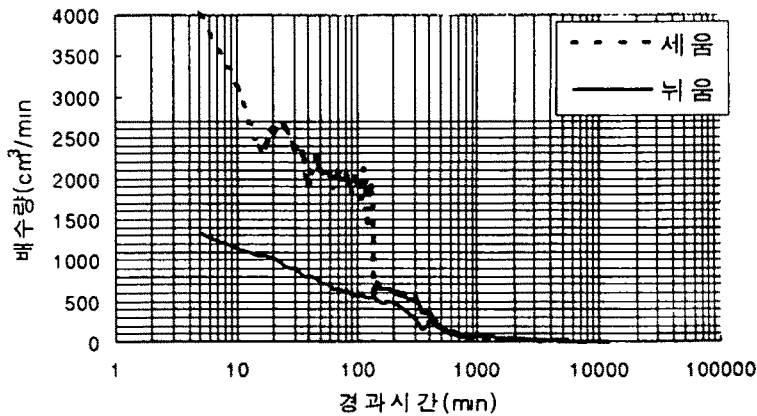


그림 5.7 타설면에 따른 배수 영향

그림 5.7에서 알 수 있듯이 PBD의 면을 세운 경우가 뒀은 경우보다 배수효과가 크게 나타났는데 이는 수평방향의 투수계수가 연직방향의 투수계수보다 큰 점, 수평토압이 연직토압보다 작은 점 및 뒀은 경우는 상방의 면으로만 배수가 일어남에 대하여 세운 경우는 양 방향으로 배수가 일어나는 등의 이유로 통수능력이 커지기 때문인 것으로 추찰된다.

2. 준설매립점토

액상상태의 흙은 자중하여 침강시 평형상태에 도달할때까지 액체상태를 유지하며 떠 있다. 흙 입자의 현탁액은 중력에 의해 침강과 하부에는 침전물의 누적에 따른 압밀이 진행된다. 이러한 침하 - 압밀의 매커니즘은 Imai(1981)에 의해 침전과정이 세단계(그림5.8)로 구성되어 있음이 연구되었다.

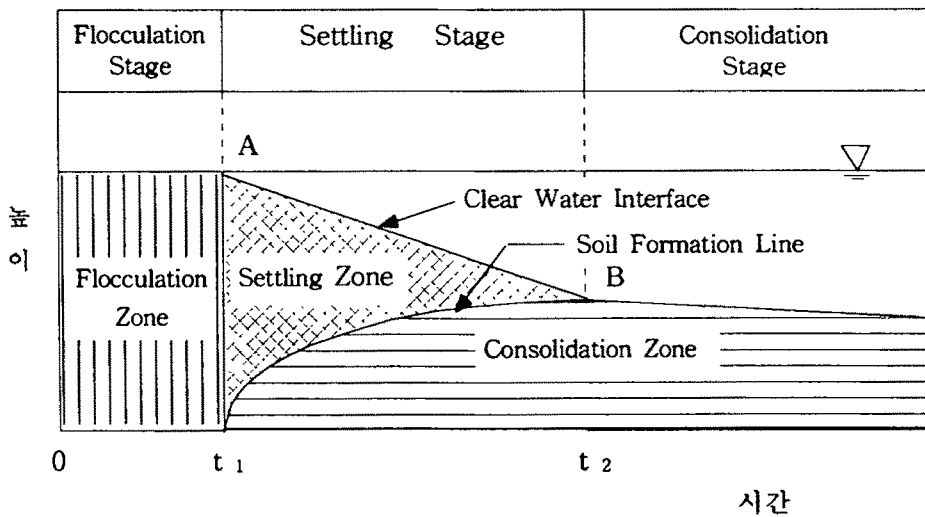


그림 5.8 침하 - 압밀의 메커니즘

일반적으로 세가지 단계로 나타나는데 초기단계는 침전은 발생하지 않고 floc의 형성과정이며, 중간단계는 floc이 점차로 침전하여 침전물의 층을 형성하고, 함수비를 감소하여 압밀하에 놓이게 된다. 따라서 상부의 침전구역과 침전물 사이의 경계는 새로운 침전물을 발생한다. 침전물이 점진적으로 증가하면서 상부의 침전 지역은 점점 얇아지게 되며 결국은 사라지게 된다. 최종단계는 모든 침전물이 자중 압밀하에 있게 되며 결국은 자중압밀이 완료된 평형상태에 도달하게 된다.

가. 칼럼테스트결과

본 실험은 침강특성 및 자중압밀이 시작되는 시점을 분석하기 위하여 표5.3에 나타내는 조건으로 함수비를 4종으로 조정하여 준설토의 초기조건에 따른 특성을 파악하기 위하여 시간의 경과에 따른 침하량을 측정하였다.

표 5.3 준설토의 초기조건

	침강 및 자중압밀시험			
	칼럼 A	칼럼 B	칼럼 C	칼럼 D
초기 단위중량(gf/cm ³)	1.340	1.257	1.155	1.092
초기 간극비	3.788	5.776	9.809	13.422
초기 함수비(%)	140.74	219.47	368.3	490.82

그림 5.9는 침하량~시간 관계를 나타낸것이다. 이 그림에서 보듯이 시료 세팅후 칼럼 A에서는 약 250분(4시간), 칼럼 B에서는 약 200분(3시간)이 경과할 때까지 침하가 거의 일어나지 않음을 알 수 있는데 이는 초기에 고함수비를 갖는 슬러리 상태의 점토가 침전은

거의 발생하지 않고 Floc을 형성하는 단계로 Imai(1981)가 제시한 Flocculation stage로 판단된다. Flocculation stage이후에는 침하곡선이 갑자기 완만해짐을 보이는데 Imai가 제시한 Settling stage를 거치지 않고 곧바로 consolidation stage인 것으로 판단된다. 그리고 칼럼 C, D에서는 시료셋팅후 약20분이 경과할때까지 침하가 거의 일어나지 않음을 알 수 있고, 이는 floc을 형성하는 단계로 Imai가 제시한 Flocculation stage로 판단된다. Flocculation stage이후에는 150분, 100분까지 침하량이 슬러리점토가 침전물로 변하여 상부에서는 침강을 하며 하부에서는 자중하의 압밀이 일어나는 상태로 Settling stage로 판단된다. 칼럼 C는 35,000분, 칼럼 D는 30,000분이 경과한 이후에는 침하곡선이 갑자기 완만해짐을 보이는데 이는 상부의 침강단계는 사라지고 완전히 형성된 Soil층이 자중 압밀하에 놓인 상태로 Imai가 제시한 consolidation stage인 것으로 판단된다.

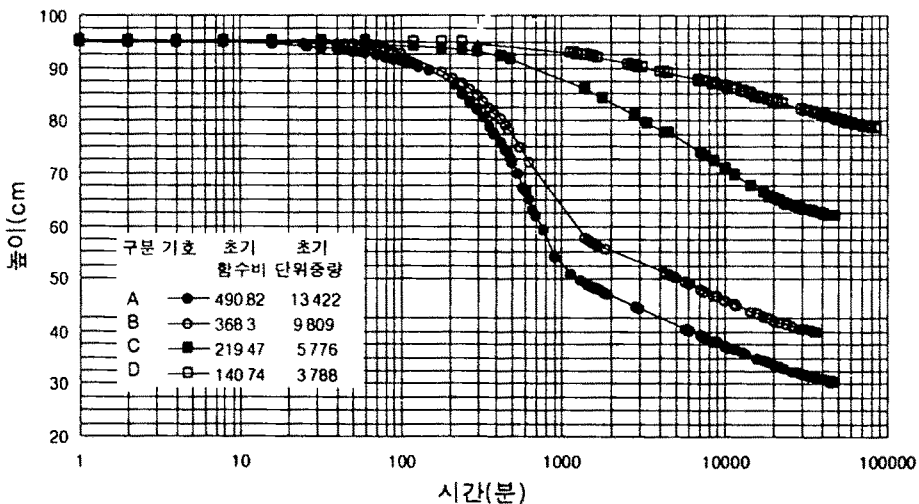
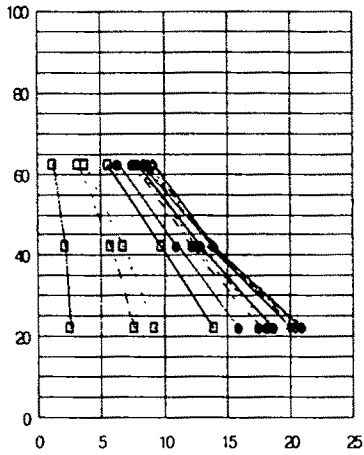
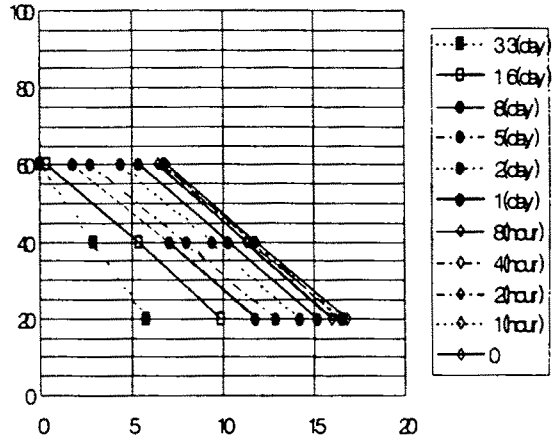


그림 5.9 시간-침하관계

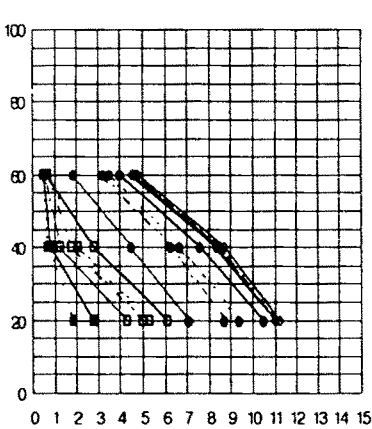
과잉간극수압의 측정은 칼럼측면에 칼럼 A와 C는 바닥에서 22cm높이에서부터, 칼럼 B와 D는 바닥에서 20cm높이에서부터 20cm간격으로 3개소에 스탠드파이프를 설치하였는데 시간경과에 따른 과잉간극수압의 분포는 그림 5.10와 같다



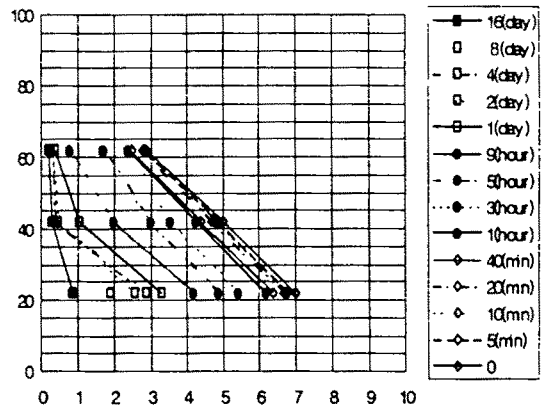
(a) 칼럼 A



(b) 칼럼 B



(c) 칼럼 C



(d) 칼럼 D

그림 5.10 과잉간극수압분포도

이 그림으로부터 과잉간극수압이 점차적으로 소산되어 감을 알 수 있는데 과잉간극수압이 거의 소산되는데 있어서 함수비가 비교적 적은 칼럼 A는 58일 걸린데 비하여, 상대적으로 함수비가 높은 칼럼 C는 16일 소요되고 있다.

칼럼실험 중 준설토의 침강 및 자중압밀기간 동안에 변화하는 흙의 단위중량을 측정하였으며, 깊이에 따른 단위중량의 변화는 여러 가지 어려움 때문에 실시하지 못하고, 칼럼 전체에 대한 시간 변화의 단위중량을 측정하여 그림 5.11과 같이 나타냈다.

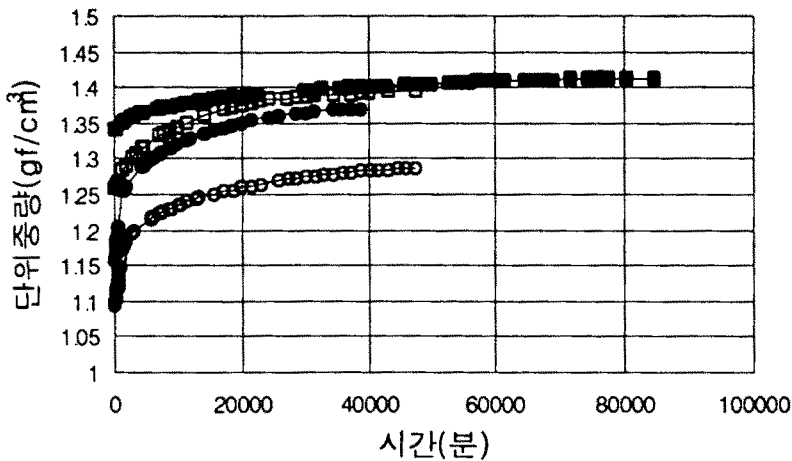


그림 5.11 경과시간에 따른 단위중량변화

이들 그림으로부터 시간의 경과에 따라 점차적으로 단위중량이 증가하고 있으며 자중압밀이 시작되는 시점까지 단위중량이 증가하다가 압밀종료시에는 거의 일정한 단위중량에 수렴되어 가는 것을 알 수 있다.

그러나, 위의 실험으로부터 최종압밀에 도달했는지를 알 수가 있으

며, 각각 다른 함수비 조건에서 최종침하량을 예측할 필요가 있다. 이러한 점을 검토하기 위하여 그림 5.12과 같이 함수비가 다른 동일 시료에 대해서 시간에 따른 비체적을 도시해 보았다.

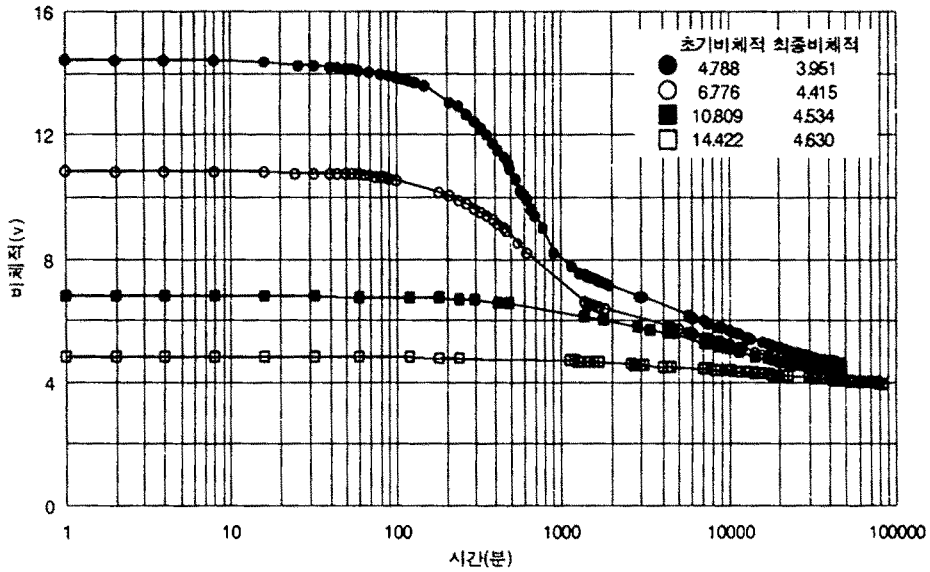


그림 5.12 경과시간에 따른 비체적 변화

그결과 초기의 간극비가 각각 다르더라도 최종의 간극비는 2.951 ~ 3.630에 수렴됨을 알 수 있다. 따라서 일정한 값에 수렴된 최종의 간극비일때의 시간을 최종침하량으로 간주해도 무방할 것으로 사료된다. 이들 결과로부터 얻은 경과시간에 따른 최종 침하량과 복합통수능력시험에서 얻은 최종침하량을 비교하고 배수재를 사용하여 변화된 함수비를 비교해보면 지반개량 효과를 알 수 있다.

나. 복합통수능력시험 결과

본 실험에서는 간극수압, 통수량 및 침하량의 경시변화를

측정하였다.

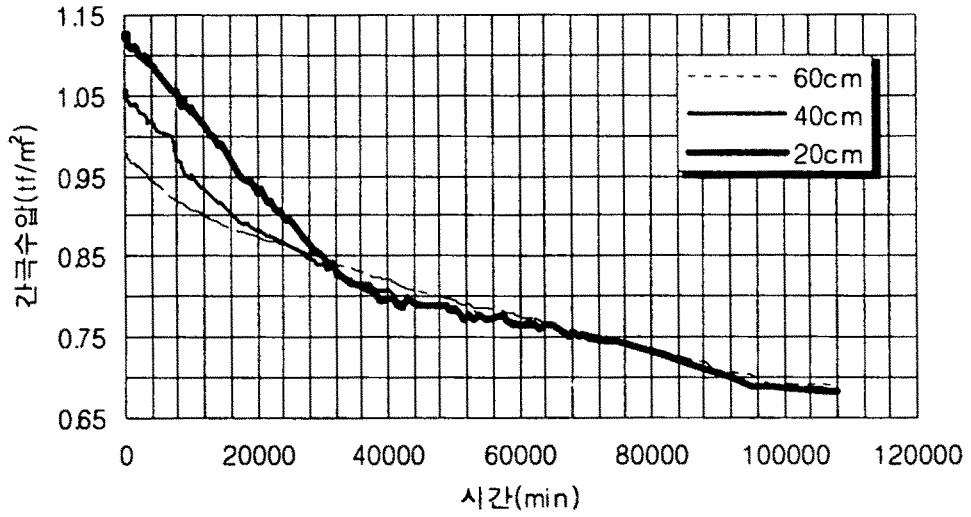


그림 5.13 간극수압 경시변화

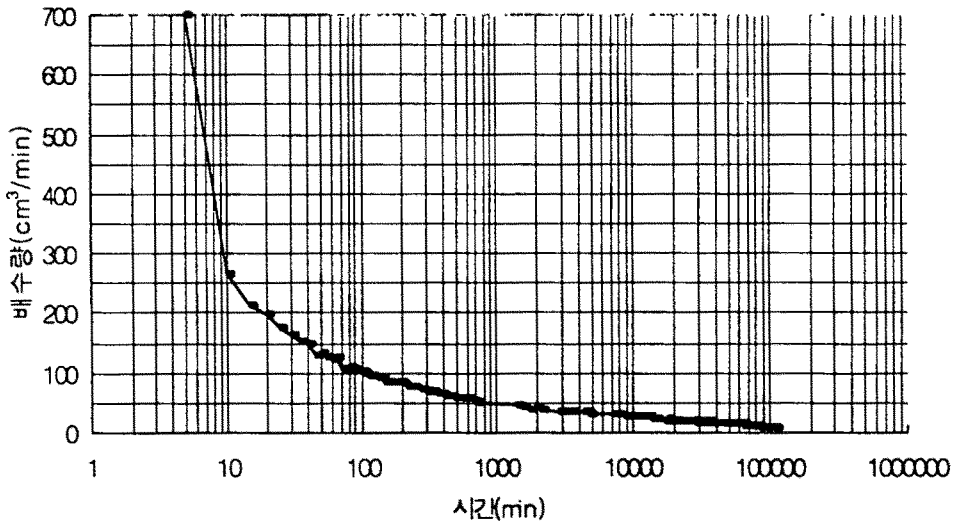


그림 5.14 배수량의 경시변화

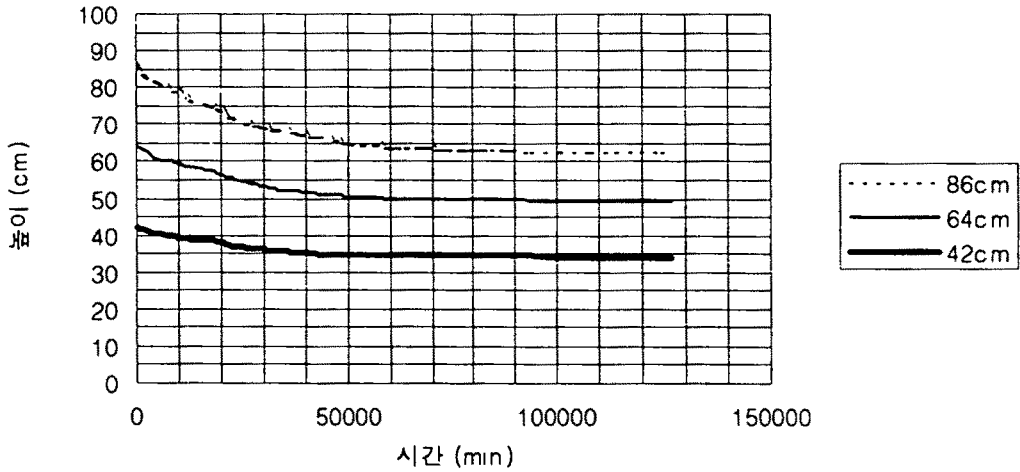
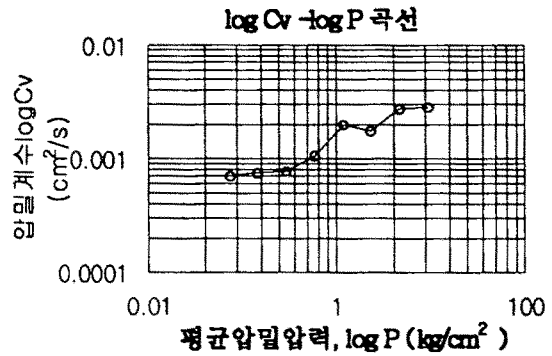
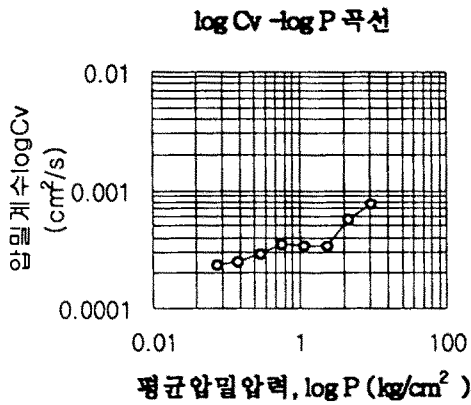
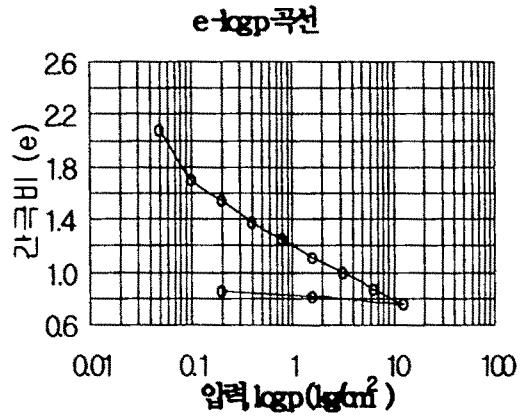
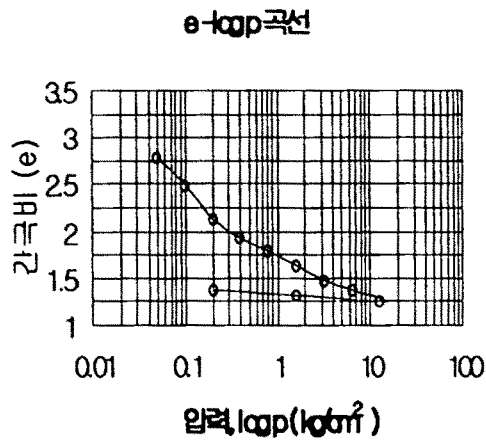


그림 5.15 침하의 경시변화

위 그림으로부터 간극수압 및 배수량, 침하가 약 45,000분에서 수렴하고 있으며 이로 볼 때 준설매립점토에서도 원활히 배수가 되고 있어 준설매립점토로서도 PD재가 유효하다고 판단된다. 또한 함수비의 변화에 있어서는 복합통수능력시험과 칼럼시험에서 초기 함수비 219.47%가 최종침하량이 종료된 시간(약 47,000분)일때의 함수비는 배수재를 사용한 복합통수능력에서는 67.32%이고, 칼럼시험에서는 114.3%이며, 단위중량에 있어서는 복합통수능력시험에서 1.622g/cm^3 , 칼럼시험에서 1.394g/cm^3 로 나타났다.

복합통수능력시험을 하기 위하여 토조에 시료를 채워 넣었을 때와 시험종료후의 압밀시험결과는 그림 5.16과 같다.



(A) 시험 시작시 압밀곡선

(B) 시험 종료후 압밀곡선

그림 5.16 압밀시험곡선

이 그림으로부터 압밀계수 (C_v)는 시험 시작때 $0.0002 \sim 0.0008 \text{ kgf/cm}^2$ 에서 시험종료후 $0.0007 \sim 0.003 \text{ kgf/cm}^2$ 으로 변화되었는데 이는 시험종료후의 압밀계수가 약 5배로 증가하여 압밀이 촉진되었음을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 PD배수재를 사용함으로써 지반개량효과를 충분히 거양할 수 있다고 판단된다.

제 6 장 현 장 시 험

제 1 절 서 설

현장시험은 현장에서 직접 각종 배수재의 배수효과를 상호비교하고, PD재에 대한 배수재로서의 유효성 검토, 타설방법에 따른 배수영향 및 배수재의 간격결정 등 배수 메커니즘을 규명할 목적으로 실시하였다.

시험포는 2곳을 선정하였으며, 관리가 용이하고 지하수위가 1m 이내이며 국부적인 용출수가 발생하지 않은 곳의 대표적인 내륙지와 간척지의 각각 1개소씩 선정하였다.

내륙지로는 군산시 나포면 부곡리에 위치하고 있는 주곡지구로서 지하수위는 지표면으로부터 0.5 ~ 1.0m로서 포장단면은 장변과 단변이 각각 100m, 40m인 저습담이며, 간척지에는 당진군 고대면 초락도리에 위치한 대호 5공구 사업지구에 설치하였으며, 지하수위는 1m내외이고 포장의 단면은 장변이 100m, 단변이 50m의 규모이다.

주곡지구의 포장평면도는 그림 6.1과 같으며, 시험포의 설치는 백호우(규격: 0.2m³)를 사용하여 굴착하였는데 지반교란이 가능한 적도록 하기 위하여 백호우 버킷을 폭 0.3cm로 교체하여 굴착폭을 최소한으로 하였으며, 굴착심도는 타설시점은 55cm, 종점은 60cm로 1/800의 자유구배를 형성하여 타설하였다.

각 배수재간의 배수에 대한 포장상호간의 상호 영향을 없애기 위해 각 경계부에 깊이 1.0m를 굴착하고 1.3m폭의 두루마리 비닐을 사용하여 1.0m는 매설하고 0.3m는 지표면 위로 노출되게 하여 각각 용

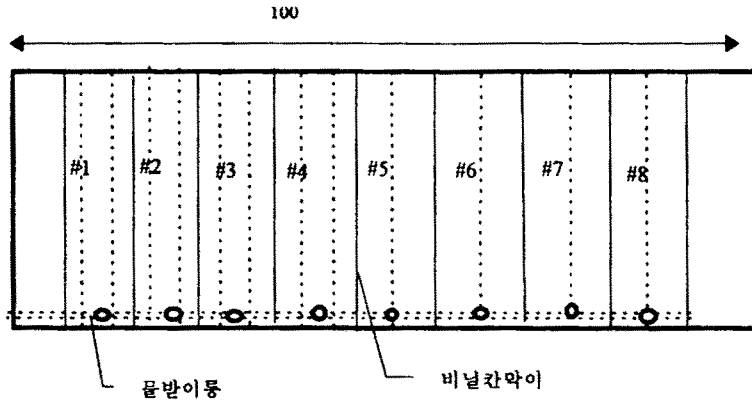


그림 6.1 시험포장 평면도(주곡지구)

도별 포장에 대하여 논두렁을 만들어 다른 포장에 배수가 유입되지 않도록 하였으며, 또한 전체 포장 외곽에도 비닐을 설치하였다.

대체로 용도별 포장의 폭은 10m로 하고 간격이 2m로 설치된 PD의 경우는 4m로 하였다. 배수성능 비교를 위하여 설치재료, 설치형태 및 간격 등을 조정하여 8종의 타설을 하였으며 배수재의 설치는 밴드형 PD재는 2m 간격으로 2본을 각각 면을 세워서 설치(PD재의 두께가 상하방으로 향하도록 설치)한 경우 1개소(#1), PD재 면를 뒹어서 설치(PD의 면이 상하방으로 향하도록 설치)한 경우 1개소(#2)를 설치하였으며, 5m 간격으로 2본을 연직으로 설치한 경우 1개소(#3), 5m 간격으로 2본을 연직으로 설치하고 소수재로 왕겨를 종래의 PVC 유공관 암거와 동일하게 사용한 경우 1개소(#4)를 설치하였다.

또한, PD재와 상호 비교하기 위하여 종래의 PVC 유공관을 설치하였는데 10m간격으로 1본을 소수재(왕겨)를 사용하여 1개소(#5)를 설치하였고, PVC 유공관과 형상이 비슷한 프랑스 제품인 원형 PD재(매너드 드레인)를 3본을 설치하였는데, 1본은 원형 PD재에 소수재(왕

겨)를 사용한 경우 1개소(#6), 1본은 원형 PD재만을 사용한 경우

표6.1 배수재 타설 현황(주곡지구)

종 류	간 격(m)	본수	소수재 유 무	타설방법 (PD재 면)	비 고
밴드형 (PBD)	2	2	-	세 움	# 1
	2	2	-	늪 움	# 2
	5	2	-	세 움	# 3
	5	2	왕겨	세 움	# 4
원 형 (MCD)	10	1	-		# 7
	10	1	왕겨		# 5
	10	1	-	MW필터재 대체	# 8
PVC유공간	10	1	왕겨		# 6

1개소(#7), 1본은 원형 PD재에 필터를 MW제품의 필터로 대체하여 사용한 경우 1개소(#8)를 설치하였다(표6.1참조).

각 포장말단부에 설치하여 직경 40cm, 높이 1.3m의 원통형 물통을 8개를 만들어 배수량을 측정할 수 있도록 하였으며, 측정을 하지 않는 기간동안 지속적으로 드레인을 통하여 배제되어 원통에 집적되는 물을 배제하기 위하여 원통과 원통 사이에는 직경 75mm파이프를 연결하고, 이것을 기존의 배수로에 접속시켰다. 또한, 배수시험을 실시에 따라 지하수위 변화를 관측하기 위하여 스트레이너를 각 포장별로 설치하였다.

대호 5공구의 시험포는 그림 6.2와 같이 설치하였는데, 주곡지구와 마찬가지로 시험포 외곽은 비닐을 사용하여 깊이 1m까지 굴착하여 매설하였으며, 용도별 포장간의 배수에 상호영향을 미치지 않도록 하기 위하여 비닐을 사용하여 칸막이를 설치하였다.

배수재의 타설은 PD재의 경우에는 1차년도에 고안된 타설장비로

설치하였으며, PVC 유공관에 소수재를 사용한 경우와 연탄재를 사용한 경우에는 주곡지구에서 타설한 것과 같이 백호우를 사용하여 타설하였다.

배수재의 타설 간격은 밴드형 PD재의 경우에는 5m 간격으로 2분을 연직으로 타설한 경우가 1개소(##4), PD재를 수평으로 타설한 경우가 1개소(##3), PD재를 수평으로 타설하고 주위에 소수재(왕겨)를 사용하여 타설한 경우가 1개소(##6)를 각각 10m씩 나누어 비닐 칸막이를 설치하였다. 원형 PD재의 경우에는 원형 PD재 1분에 밴드형 PD재의 필터를 사용하여 타설한 경우가 1개소(##1), 원형 PD재만을 단독으로 1분 타설한 경우가 1개소(##2)를 각각 10m씩 나누어 비닐 칸막이를 설치하였다.

또한, 배수재의 성능을 비교하기 위하여 종래의 PVC 유공관에 소수재(왕겨)를 사용한 경우 1개소(##5)와 유연탄 연소재를 심체로 하고 PD재 필터를 사용하여 타설한 경우가 1개소(##7)를 마찬가지로 10m씩 나누어 비닐 칸막이를 설치하였다(표6.2참조).

표6.2 배수재 타설현황(대호지구)

종 류	간 격(m)	분수	소수재 유 무	타설방법 (PD재 면)	비 고
밴드형	5	2	-	세 움	# 4
	5	2	-	늪 움	# 3
	5	2	왕겨	늪 움	# 6
원 형	10	1	-		# 2
	10	1	-	MW의 필터재 대체	# 1
PVC유공관	10	1	왕겨		# 5
유연탄 연소재 코어	10	1	-	필터재는 MW제품사용	# 7

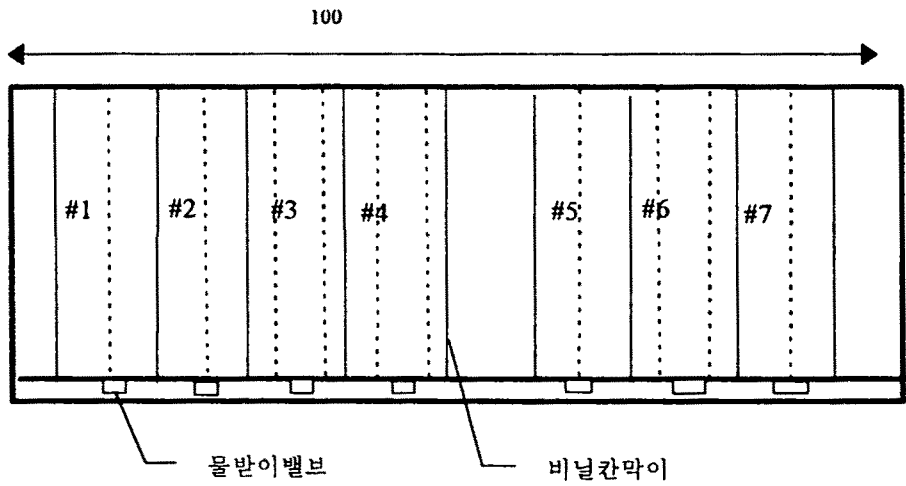


그림 6.2 시험포장 평면도(대호5공구)

제 2절 시험포장의 토질특성

본 시험포 토질의 물리, 역학적인 성질을 규명하기 위하여 대표적인 위치에서 시료를 채취하여 실내시험을 실시하였다.

주곡지구에서는 깊이 0.2~0.3m, 0.4 ~0.5m에서 각각 1점씩을 채취하였는데 시험 결과는 표 6.3과 같다.

표 6.3 토질시험 결과(주곡지구)

시료명	심도 (m)	입도 (%)			습윤단위 중량 (gf/cm ²)	액성한 계 LL (%)	소성지수 I _p (%)	비중 G _s	통일 분류
		점토	실트	모래					
1	0.2-0.3	30.0	55.7	14.3	1.628	48.2	27.59	2.665	CL
2	0.4-0.5	26.0	66.4	7.6	1.705	42.9	22.65	2.667	CL

표 6.4 토질시험 결과(대호5공구)

시료명	심도 (m)	입도 (%)			습윤단위 중량 (gf/cm ²)	액성한 계 LL (%)	자연 함수비 (%)	비중 G _s	통일 분류
		점토	실트	모래					
1	0.3-0.4	8.0	52.1	39.9	1.985	NP	21.97	2.669	ML
2	0.4-0.5	10.0	71.2	18.8	2.011	NP	23.37	2.661	ML
3	0.3수평	8.0	63.2	28.8	2.019	NP	19.16	2.665	ML

본 지구의 투수계수는 심도 0.2~0.3m에서 3.88×10^{-7} cm/sec, 심도 0.4~0.5m에서 2.01×10^{-7} cm/sec로 나타났다.

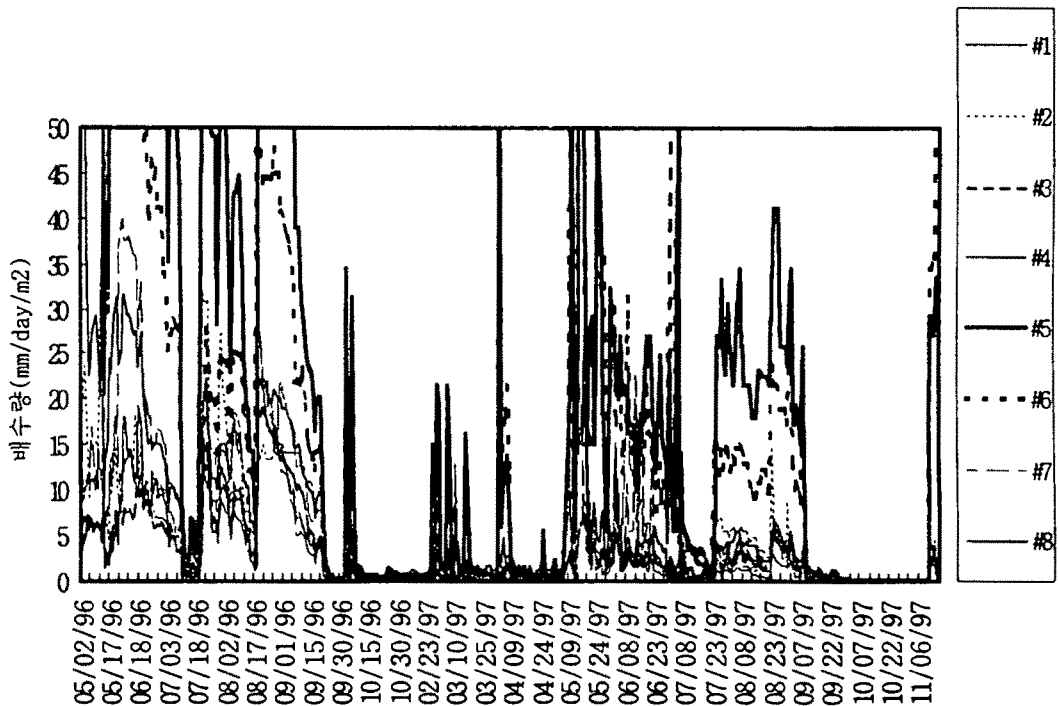
대호5공구에서는 시료를 심도 0.3~0.4m, 0.4~0.5m에서 각각 1점씩, 그리고 0.3m에서 수평방향으로 1점, 총 3점을 채취하였으며, 토질시험 결과는 표 6.4와 같다.

제 3절 시험결과 및 분석

1. 배수시험 결과

주곡지구의 배수량 시험은 '96. 5.1부터 실시하였는데 배수재에 따른 일별 단위 면적당 배수량은 그림 6.3과 같다.

그림 6.3에서 #1은 밴드형 PD재로서 PD재를 연직으로 하여 2m 간격으로 타설한 경우이며, #2는 PD재를 수평으로 하여 2m간격으로, #3은 PD재를 연직으로 하여 5m간격으로 타설한 경우이다. 그리고 #4는 PD재를 연직으로 하여 5m 간격으로 타설하되 소수재(왕겨)를 사용한 경우이다.



일지

그림 6.3 배수재에 따른 일별 배수량

#5는 종래의 PVC 유공관에 소수재(왕겨)를 사용하여 10m간격으로, #6은 원형 PD재에 소수재(왕겨)를 사용하여 10m 간격으로, #7은 원형 PD재만을 사용하여 10m 간격으로, #8은 원형 PD재에 밴드형 PD재인 MW의 필터로 교체하여 타설한 경우이다.

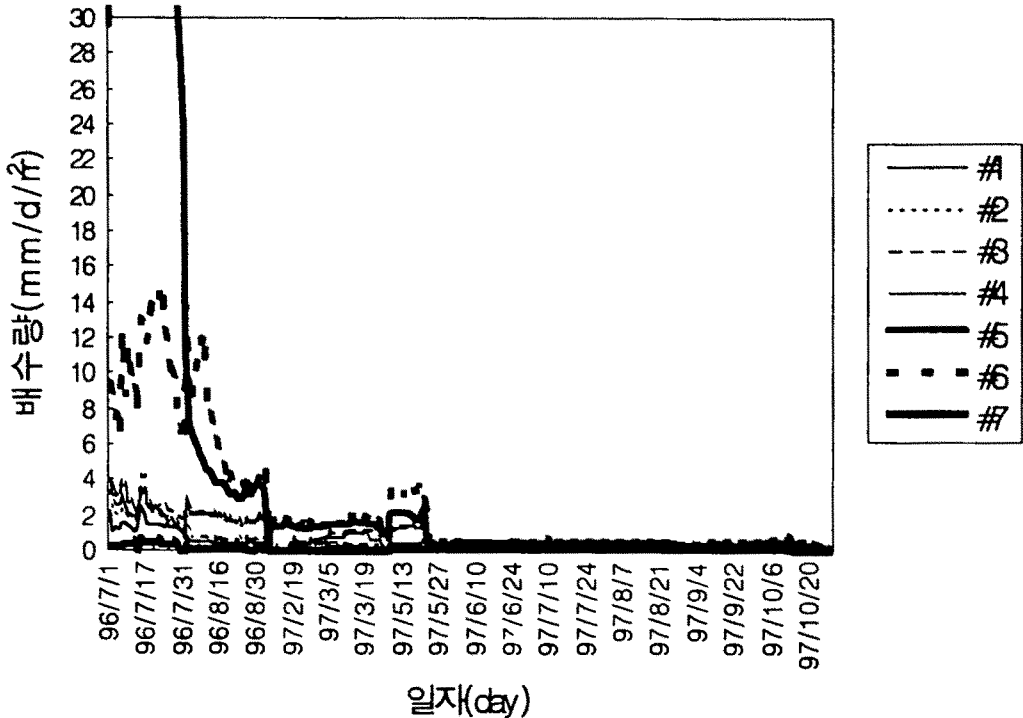


그림 6.4 현장시험포 배수시험(대호5공구)

대호5공구의 배수시험은 '96.7.1부터 실시하였는데 그 결과는 그림 6.4와 같다.

#1은 원형 PD재에 MW제품의 필터를 사용하여 타설한 경우이고, #2는 원형 PD재만을 타설한 경우이며, #3은 밴드형 PD재를 5m 간격으로 2본을 수평으로 타설한 경우, #4는 밴드형 PD재를 연직으로 세워 타설한 경우이며, #5는 PVC 유공관에 소수재(왕겨)를 사용한

경우이고, #6은 PD재를 연직으로 타설하고 주위에 소수재(왕겨)를 사용하여 타설한 경우이며, #7은 유연탄 연소재에 MW제품의 필터를 사용하여 타설한 경우이다.

그림 6.3 및 6.4로부터 주곡지구는 내륙지역, 대호5공구는 간척지로서 배수효과 면에서 내륙지역이 효과가 큰 것으로 나타났으나, 대호5공구는 시험포 조성 당해연도에 답작을 하지 않은 데다가 토양구조가 판상구조여서 투수성이 저하되어 배수효과가 작은 것으로 판단된다.

2. 밴드형 PD재의 유용성 검토

밴드형 PD재가 저습답에 사용 가능한지를 검토하기 위해 PD재의 배수량과 계획배수량을 비교했다. 계획배수량은 농지개량사업설계기준(배수편)에 비1모작일 경우 10~20mm/day 배제하는 것으로 되어있다. 따라서, 이것을 기준으로 할 때 그림 6.5와 같이 플라스틱 드레인 간격이 2m인 경우에 충분히 배제하는 것으로 나타났으나, 간격이 5m인 경우에는 계획배수량을 배제하지 못하는 것으로 나타났다. 이 결과를 종합할 볼때 타설간격은 2m인 경우가 저습답의 배수 개선에 유리할 것으로 판단된다.

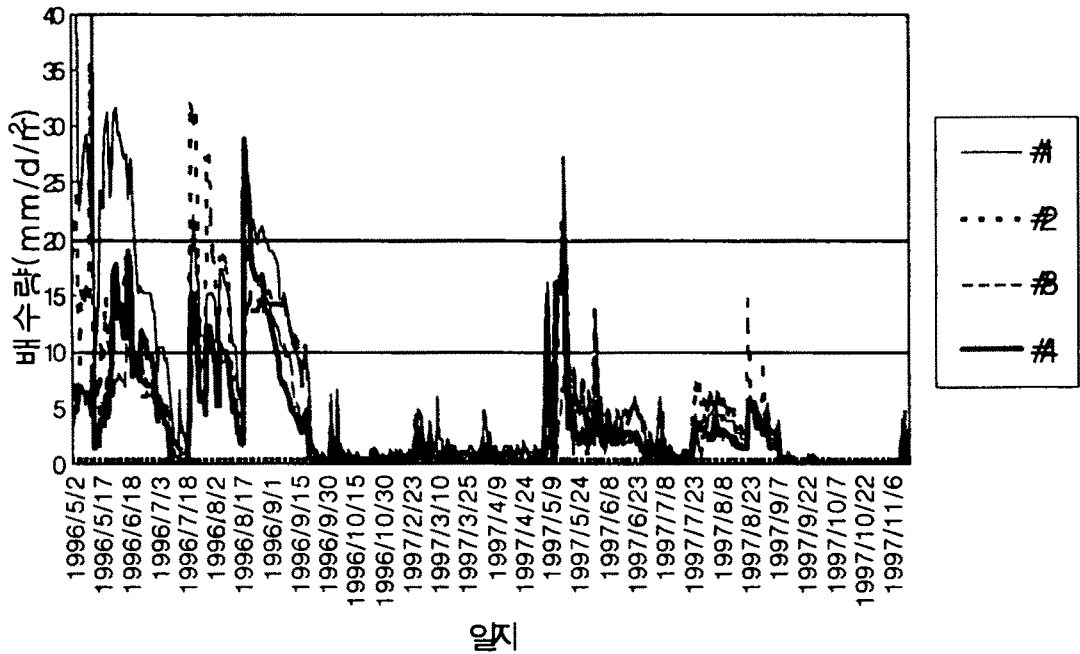


그림 6.5 밴드형 플라스틱 드레인재의 타설 간격에 따른 배수량비교

3. 소수재 유무에 따른 배수량 영향

그림 6.6과 같이 플라스틱 드레인재의 간격이 5m인 경우에 연직으로 타설하고 소수재를 사용한 경우(#4)가 소수재를 사용하지 않은 경우(#3)보다는 배수효과 면에서 약간 크지만 큰 차이를 나타내지 않고 있다. 이는 플라스틱 드레인재의 통수능력에 한계가 있어 소수재를 사용하더라도 효과가 없는 것으로 판단된다.

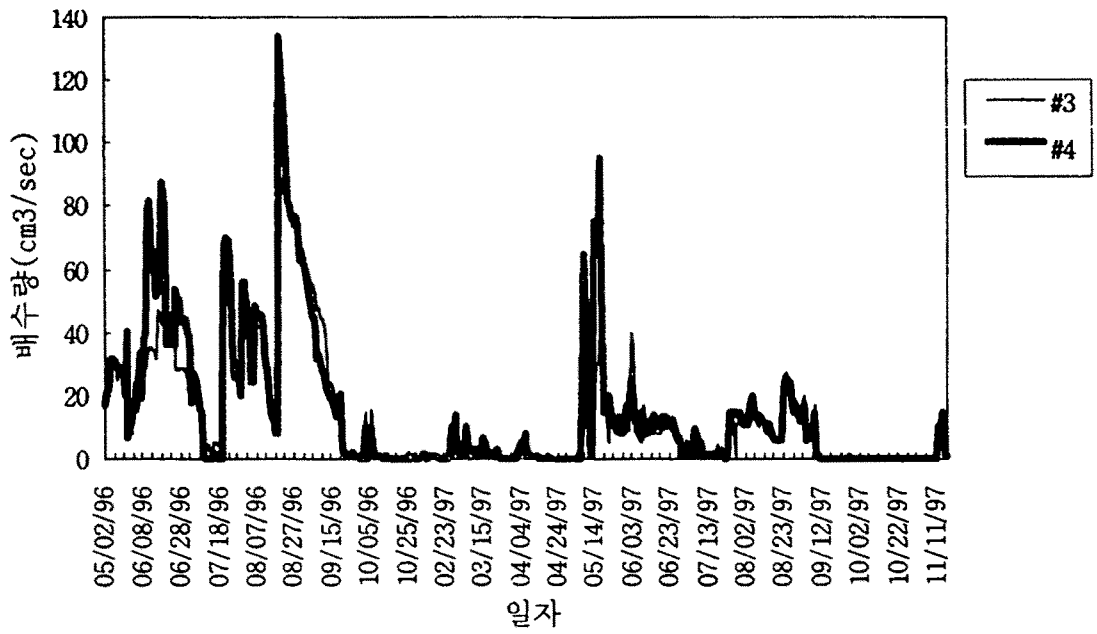


그림 6.6 소수재 유무에 따른 배수영향

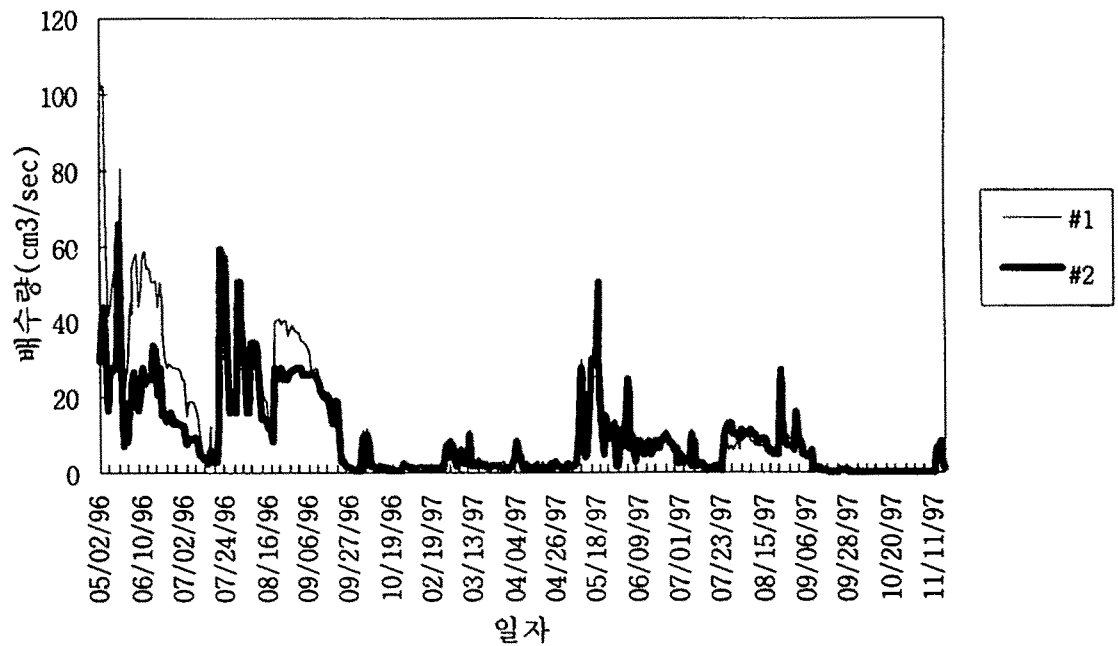


그림 6.7 타설방법에 따른 배수량 검토

4. 타설방법에 따른 배수영향

그림 6.7은 플라스틱 드레인재를 2m간격으로 설치한 경우인데 #1은 연직으로 설치하였고, #2는 수평으로 설치한 결과, 2차년도(1996년도)에는 연직으로 설치한 경우가 배수효과가 큰 것으로 나타났으나, 3차년도(1997년)에는 거의 유사한 배수효과를 나타내고 있다.

이들 결과로 보아 타설시 PD재를 세워서 연직으로 설치한 경우가 배수효과 측면에서 유리하다고 판단된다.

제 4 절 경 제 성 분 석

현장시험과 실내시험 결과 PD재 최소 타설간격이 약 2m로 나타났다. 따라서 PD재의 타설간격을 2m로 하여 타설간격이 10m인 기존 암거배수인 PVC 유공관과의 시공비에 대하여 단순 비교하면 표 6.6 과 같다.

표 6.6 PD재 및 PVC 유공관의 시공비 비교(1ha당)

(간격 : PD재 2m, PVC유공관 10m) 금액단위:원

항 목	PD재	PVC유공관	비 고
트랜쳐 임대료			
유공관 매설		1,000,000	
되메움 및 정지		866,000	
유공관 배열		32,000	
왕 겨		13,000	
인부임		712,000	
유공관 부직포 감기		133,000	
부직포 원가		140,000	
부직포 설치 운반		300,000	
유공관 원가		15,000	
유공관 설치비		864,000	
유공관 운반비		25,000	
		43,000	
트랙터 임대료(인건비 포함)	500,000		
PD재 설치비(재료비의 5%)	125,000		
PD재 원가(㎡당 450원)	2,250,000		
PD재 운반비	10,000		
계	2,885,000	4,147,000	

위의 표 6.6에 나타난 시공비는 배수로 정비와 관련된 사업비를

제외한 순수한 배수재의 타설비만을 고려한 것이다. 위 표에서 보듯이 단순비교만으로도 PD재의 타설비가 ha당 2,885,000원으로 PVC 유공관 타설에 대하여 1,262,000원이 저렴한 것을 알 수 있으며, PD타설시 70%의 공사비를 절감할 수 있다. 향후 지하배수 개선 사업을 시행해야 할 농경지는 약 8만7천ha에 달하는 점을 고려하면, 개략적으로 1천 1백억원의 공사비 절감효과를 거양할 수 있다. 또한, 종래의 PVC 유공관의 경우 현재 매설기계(Trencher)가 2대뿐이고 앞으로 2대를 신규 도입할 예정이지만 사업 추진이 활발하게 되어 매년 2,000ha를 시공한다고 해도 40년이 소요하게 될 것이다.

따라서, 본 연구에서 개발된 PD재 타설장비를 사용하여 농민이 직접 트랙터에 부착하여 PD재를 시공한다면 지하배수개선사업이 국가 예산이 허락한다면 약 5년동안에 완료할 수 있다고 사료된다. 지하배수개선 농경지에서 얻어지는 수확과 노동력 절감의 순수익이 표 6.7에서 보는 바와 같이 ha당 1,633천원이다. 이 점을 추가로 계산하고, 저습답에서 경작시에 겪는 농민의 애로 및 전답운작 가능성 등을 종합적으로 고려하면 환산하기 어려울 정도의 효과가 거양될 것으로 판단된다.

그리고 기존 매설장비인 트랜처는 특수 운전원이 필요하며, 고가(2억원)이고 지하배수개선사업기간(10월~익년 3월) 이외에는 사용할 곳이 없지만, 트랙터에 탈부착이 가능한 본 PD재 타설장비는 저가(약500만원)이면서 농민이 직접 타설할 수 있으므로 유리할 뿐만 아니라 농림부의 담당자와 협의를 거쳐 정착에 반영이 된다면, 상기에 서 언급한 바와 같이 막대한 경제효과를 거양할 수 있으므로 PD재

표 6.7 지하배수개선사업 시행전후 비교

자료 : '95 농업경제조사 종합보고서(농어촌진흥공사)

구분	지 하 배 수			비 교
	시 행 전	시 행 후	증 감	
수도작 ha당 노동력 절감	849	604	245	단위 : 시간
답 이용률(%)	101.5	104	2.5	
ha당 증가순수익	2,515	4,148	1,633	단위 : 천원

타설장비를 각 동, 리 단위로 1대씩 공급하거나 영농조합 등에 다수 공급하면 동시다발적으로 단기간에 저습답의 배수개선이 이루어질 수 있을 것으로 판단된다.

제7장 플라스틱 드레인 설치장치의 고안, 제작

제1절. 서 설

소수재로 둘러싼 PVC 유공관으로 된 종래의 흡수관 매설장비로 현재 농어촌진흥공사에서 보유하고 있는 Trencher가 이용되고 있으며 이는 일작업량이 1,600m 내외이며, 연간작업일수가 80일 내외(늦가을~초봄)로서 연간작업량이 128,000m에 불과하다. 이를 지하배수사업 시행예정지구인 충남 논산군 신화지구의 흡수관 매설물량 857,569m의 공사를 완료하는데도 약 7년이 소요될 전망이다(농어촌진흥공사, 1993). 또한, 1979년에 도입되어 5년의 내구년수를 훨씬 경과하고 있으며, 장비 자체가 고가일 뿐만 아니라 종사원(2인)의 급료, 정비비 및 관리비 등이 많이 소요되는 문제점을 안고 있다. WTO체제의 출범과 함께 기존의 농지이용율을 최대로 제고해야하는 현상에 비추어 볼때 매년 특정지구를 선정하여 일부 구간에 국한된 배수개선사업을 추진하는 것은 다소 문제가 있는 것으로 사료된다.

따라서, 본 연구에서는 신소재인 PD재로된 흡수관을 경작자가 직접 간편하고 경제적으로 타설함과 동시에 일시 다발적으로 전국에 걸쳐 많은 물량의 배수개선사업을 수행하기 위한 드레인 설치장비를 고안, 제작하는 것을 목적으로 한다.

제2절. 드레인 설치장비 본체의 고안, 제작

1. 개요

전북 군산시 나포면 일대의 주곡지구 지하배수개선사업이 최

근(1993. 8. 30~1995. 12. 10)에 수행되었다. 이 지구의 흡수관 매설 조건을 대표적인 기존의 공법으로 선정한다. 주곡지구는 구역면적이 212.13ha로서 흡수관 매설 길이는 171,827m이다. 본 지구의 흡수관 깊이는 상류부가 60~70cm, 하류부가 70~80cm의 범위로 하였으며 흡수거의 폭은 15cm, 소수재(왕겨)의 매설깊이는 흡수거 바닥에서 상부로 40cm이며, 구배는 1/1,000이다. PVC유공관으로된 흡수관에 왕겨 및 세립자의 유입방지를 위하여 두꺼운 부직포 필터(non-woven filter)로 감싸주었다.

주된 흡수관 매설과정은 다음과 같다.

가. 저습답 표면에 지표수가 존재하는 경우 미리 배제하여 매설기계의 작업능률을 높이고, 설계도에 제시된 일정간격으로 거선을 설정한다. 이때, 매설깊이 및 흡수관의 구배 등도 파악해 둔다.

나. 거선을 따라 소요량의 소수재(왕겨) 및 PVC유공관을 배치한다.



사진 7.1 소수재 및 흡수관 배치 전경

다. PVC유공관에 인력으로 부식포 필터를 감싸준다.



사진 7.2 유공관에 부식포 필터를 감싸준 전경

라. Trencher를 이용하여 흡수관과 소수재를 동시에 매설한다



사진 7.3 Trencher로 흡수관과 소수재 타설 전경

마. 1차로 10~20cm 두께로 인력되메우기를 실시한 후 3~4t급의 습지 도우저로 최종정리를 하여 작업을 종료한다.

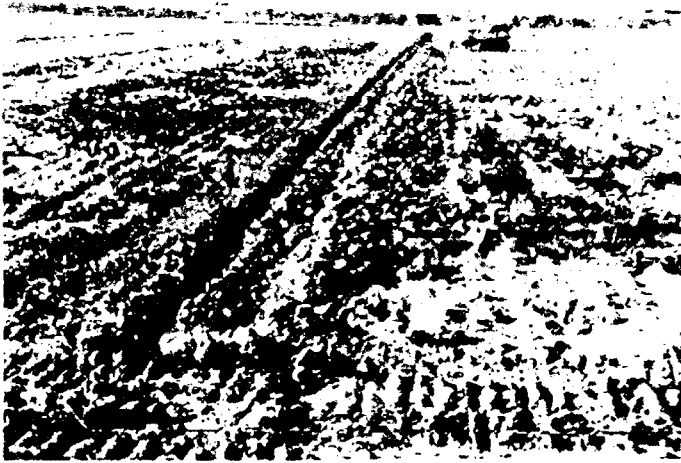


사진 7.4 습지 도우저로 되메움 전경

이와같이 복잡한 작업과정을 거치므로 경비도 많이 들뿐만 아니라 인력작업을 동반하는 공정에서는 품질관리에 문제가 발생할 우려가 크다. 특히, 부직포 필터를 인력으로 감싸는 작업중에서 한뼘의 간격이 약 5cm 정도이므로 그 틈새로 세립토 및 왕겨 등이 유입되어 흡수관을 폐쇄시킬 우려가 있다. 따라서 이들의 문제점을 개선하면서 간편하고 경제적으로 드레인 설치가 가능한 장비의 고안·제작이 필요하다고 판단된다.

2. PD재 설치장비의 고안, 제작

공장제품으로 필터슬리브(filter sleeve)와 심체(코어, core)가 일체로 된 신소재인 PD재를 종래의 PVC유공관 대용으로 흡수관으로 이용하여 경제성과 시공성을 제고하며 동시 다발적으로 배수개선사

업을 수행할 수 있게 하기 위하여 다음과 같은 드레인 설치 장비를 고안·제작하였다. 드레인 설치장비의 규모는 $B \times L \times H = 70 \times 230 \times 130\text{cm}$ 이며, 드레인(PD)재는 판형드레인(PBD, plastic board drain)과 원형드레인(PCD, plastic circle drain)의 2종류가 있으므로 이들을 모두 타설할 수 있도록 2종류의 드레인 설치장비를 제작하였다. 드레인 설치장비는 크게 6부분으로 구성되며, a) 트랙터와 연결부, b) 쟁기, c) 드레인 타설 유도판, d)드레인 장착장치, e) 드레인 송출링(장착부와 유도관 사이에 위치) 및 f) 되메움 판 등이다.

트랙터(tractor)에 의해 드레인 설치장비가 견인되게 하였으며 시험타설 등에 이용된 트랙터는 현재의 드레인 설치 장비의 규격에 맞추어 미국산 John Deer제품인 74HP($B \times L \times H = 150 \times 330 \times 210\text{cm}$)규모이다. 트랙터의 기어는 1단~8단으로 된 전륜구동형이며 PD의 타설 속도는 1단으로 주행할 경우는 속도가 6km/h 이므로 이 속도에 맞춘다. 제1차년도에 고안·제작된 2련의 고정형 드레인 타설유도관($L=110\text{cm}$, $t=3.2\text{cm}$)은 드레인재를 수평으로 타설함에 있어서 유도관 끝부분에 큰 마찰력이 작용하여 PD재의 끼임에 의해서 필터의 찢어짐 등의 손상이 일부 발생함은 물론 타설된 PD재가 꼬이는 등의 문제가 발생하였다. 또한, 2련식으로 2본의 PD재를 동시에 타설 할 경우 트랙터의 견인능력이 부족하여 바퀴가 공회전 하는 문제 등이 발생하였다. 따라서 제2차년도에서는 이를 개선한 타설유도관을 고안·제작하였다. 개선된 타설유도관은 1련의 자가회전식 디스크(rotative disk, RD)형으로 되어있다. RD형의 드레인 타설유도관은 판형과 원형 모두외경 $d_o=1.53\text{m}$, 내경은 판형과 원형이 각각 $d_i=1.495\text{m}$, 1.462m 로 되어있으며, 외측판의 간격은 판형인 PD를 타

설하는 경우는 2.3cm이며, 원형인 PD를 타설하는 장비의 외측판 간격은 5.6cm로 되어있다. 즉, 타설유도판은 판형 PD설치장비에서는 판의 흠치수가 깊이×폭=2.3cm×3.5cm이고, 원형 PD설치장비에서는 판의 흠치수가 깊이×폭=6.8cm×5.6cm이다. RD형의 드레인 설치장비는 견인하는 트랙터의 주행에 의하여 앞쪽에 부착된 쟁기가 파둔 흠 속으로 이 판이 관입되어 측면 흠과의 마찰에 의하여 회전함으로써 PD를 지표면 아래 60cm의 위치에 자연스럽게 타설되게 하는 장치이다. 따라서, PD재를 지반까지 유도한 disk면 자체가 회전해버리므로 타설시 끝부분에 마찰력이 작용하지 않게되어 문제가 없다.

지반을 굴착하는 쟁기는 제1차년도에서는 길이가 다른 3개의 쟁기($b \times t \times (h_1, h_2, h_3) = 7 \times 15 \times (20, 30, 50\text{cm})$)를 장착하여 타설유도관의 끝이 소정의 깊이(최대심도 50cm)까지 용이하게 관입되어 하였으나, 제2차년도에 드레인 설치장비를 보완하면서 3개의 쟁기측면에 걸리는 마찰력이 클것으로 판단되어 제일 긴 쟁기($b \times t \times h = 7 \times 15 \times 60\text{cm}$) 하나만을 부착하도록하였다. 또한, PD재는 1련으로 타설 할 수 있게 하였다.

경우에 따라서 드레인 설치장비의 깊이 조정이 필요할때는 트랙터의 7단계로 된 위치 제어기능을 이용하여 가능하게 하였다. PD재(1롤의 길이 200m)는 드레인 설치장비 상측에 위치한 드레인 장착장치 속에 두어 PD 송출링을 통하여 RD형 타설유도관 속으로 연결되며, PD 송출링은 회전력이 뛰어나게 제작되어 PD재의 배출에 마찰력이 발생하지 않도록 하였다. 쟁기에 의해 파헤쳐진 흠을 되메우고 담 표면의 정리를 위하여 드레인 타설장비 뒷쪽에 가동형의 부체모양의 되메움판(폭×높이=60cm×40cm)을 장착시켰다.

제2차(1996)년도에 보완된 드레인 설치장비를 이용하여 연약한 토질특성을 보이는 간척지구인 전남 목포의 영산강 사업지구, 내륙지구인 전북 익산군의 주곡지구 및 대호지구 현장 시험포에서 3회에 걸친 현장 타설시험을 실시한 결과 자체적으로는 문제없이 PD재를 일정심도로 타설할 수 있음이 판명되었다.



(A) 원형



(B) 밴드형

사진 7.5 현장 타설 시험

그 결과에 기인하여 농어촌진흥공사사장이 출원인이 되며, 김 호 일(농진공), 김석열(농진공), 박 영목(영남대) 및 조 성구(대양기계)의 4인 연명으로 1997년 6월에 특허를 출원 중이다. 그러나, 1, 2차년도에 고안, 제작되어 특허출원중인 드레인 타설장비는 총중량이 약 310kg이므로 소수의 인원으로 운반 및 탈, 부착이 곤란하며 취급상 위험이 예상되는 등의 문제점이 발생함을 인지하였다. 따라

서, 최종년도에 현장에서 농민이 손쉽게 운반 및 취급이 가능하게 될 수 있도록 타설장비를 수개의 부분으로 분리하였다. 표7.1에는 5개부분으로 분리된 타설장비의 각부명칭과 중량을 각각 나타낸다.

표 7.1 분리된 타설장비의 각 부분 명칭 및 중량

각 부분의 명칭	중량(kg)
1) 쟁기부	120
2) 3점링크연결 장치대	60
3) 드레인 장착대	20
4) 드레인 타설원판	100
5) 유압장치	10
계	310



사진 7.5 분리된 각부분별 명칭

분리된 2종(판형 및 원형)의 드레인 타설장비를 이용하여 현장타설시험을 실시하였다. 현장타설시험은 대양기계 기술진과 영남대 연구원의 공동참여로 이루어졌다. 추수하고난 저습답을 대상으로 3일간에 걸친 시험결과 전년도의 현장타설시험결과와 마찬가지로 양호한 결과를 얻었으며, 각 연결부분의 기능도 문제없이 발휘 되는 것을 확인하였다. 트럭으로 드레인 타설장치를 현장에 운반하여 현장에서 조립하는데 3인의 기술자로 판형 및 원형이 각각 19분, 15분이 소요되었으며, 해체시에는 각각 6분, 5분이 소요되어 운반 및 해체, 조립에 특별한 문제점은 없을 것으로 판단된다. 이와같이 효율적으로 드레인을 타설할 수 있는 타설장치에 추가적으로 요구되는 3가지의 중요한 사항을 고려해야할 필요가 있다. 즉, 첫째로 답 표면의 미세한 고저차(5~10cm) 및 연경도차이에 기인하여 PD재가 종방향으로 굴곡이 발생함에 따라 통수능력을 저하시키는 문제점이 있는 것이다. 둘째, 배수개선사업을 필요로하는 저습답의 표층이 연약하여 견인장치인 트랙터의 바퀴가 빠져서 작업능률 저하를 초래할 수 있는 것이다. 또한, PD재 타설시 시점부에서는 PD재의 선단이 트랙터 주행에 따라 끌려가지 않아야하며, 트랙터의 주행에 의해 발생된 견인력이 PD재의 허용인장력 이내여야만 PD재의 손상을 방지할 수 있다. 드레인 타설시 트랙터의 견인에 기인되어 발생하는 PD재의 인장력에 관한 내용은 앞에서 언급하였으므로 생략하고 나머지 2개항에 대해서 기술하고자 한다.

제3절. 드레인 설치 보조장치의 고안·제작

1. 물논바퀴의 제작

간척매립지 등에 조성된 저습답은 표층이 연약하여 드레인

타설을 위해 트랙터가 주행할시에 바퀴접지면적이 작으므로 트랙터 바퀴가 지반속으로 깊이 빠져 작업능률이 저하하거나, 특수한 경우에는 작업불능상태도 존재할 것으로 사료된다. 또한 담표면 지반의 연경도 차이에 기인하여 트랙터바퀴의 빠짐깊이가 불균일할 경우에는 타설된 PD에 종방향의 굴곡을 유발시킬 수 있어 높은 위치에 타설된 PD부분에 수분중의 공기(기포)가 누적되어 통수능력을 크게 저하시킬 수 있는 요인이 된다. 따라서 트랙터 바퀴의 빠짐현상을 저감시킬 수 있는 방안의 모색이 필요하다.

트랙터의 접지면적을 넓혀서 빠짐을 줄일 수 있는 방안은 크게 2가지로 나누어진다. 그 중 하나는 타이어(wheel)형상의 바퀴를 무한궤도(cater piller)형상으로 바꾸어 주는 것이고 다른 하나는 보조바퀴를 달아서 접지면적을 넓히는 것이다. 무한궤도 형상으로 바퀴를 개조하는 경우 경비가 많이 소요될 뿐만아니라 트랙터의 전륜과 후륜의 직경에 차이에 따른 회전수가 불일치하여 많은 개조가 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 간편하게 탈, 부착이 가능하며 저렴하게 구입할 수 있는 강철제의 물논바퀴(54T)를 부착하는 것으로 하였다.

물논바퀴는 6개의 강철제 날개로 구성되어 있으며, 트랙터 뒷바퀴에 연결장치(육각형: 한번의 길이 : 77cm, 각 날개를 끼우는 부위는 길이:25cm, 폭:10cm)를 부착하면 일반 주행에도 지장이 없는 직경이다. 날개를 끼우는 부분은 2개의 볼트구멍이 있어 볼트구멍사이에 15cm의 간격이 있어서 지반의 상황에 따라 날개의 길이를 2종류로 조정할 수 있다. 날개는 연결부에 면하는 쪽의 규격은 가로폭×세로폭×길이=7.5cm×8.0cm×35cm로 되어 있으며 담면에 직접 닿는 부분은 가로폭×세로폭×길이=24.0cm×10.0cm×16.5cm

로 되어있다.

물논바퀴의 효율성 검증을 위하여 간척매립지인 목포시 근교의 영산강 사업지구의 “연약점토지반의 표층처리 및 보강공법 실용화 연구”를 위하여 축조된 도로 우측 약 30m 떨어진 위치에서 트랙터 바퀴 빠짐을 억제하는 물논바퀴를 트랙터의 양쪽 뒷바퀴에 부착하여 10cm의 지표수가 장기적으로 고여있는 매우 연약한 지반상 ($q_c=1\text{kgf/cm}^2$)에서 효과측정을 실시했다. 원추관입시험기에 의해 측정된 이 지반의 $q_c=0.4\sim 2\text{kgf/cm}^2$, 평균 $q_c=1\text{kgf/cm}^2$ 를 나타내며, 현장함수비 $w_n=50\sim 70\%$, 점착력 $c=0.1\text{kgf/cm}^2$ 정도의 CH로서 고소성의 매우 연약한 지반이다(농어촌진흥공사, 1994). 이와 같이 매우 연약한 지반상을 6km/h의 트랙터 견인속도로 약 50m PD를 타설하면서 대표적인 10개소에서 측정한 바퀴의 관입심도를 표 7.2에 나타냈다.

표 7.2 물논바퀴 부착 및 미부착에 따른 트랙터 바퀴의 지반 관입심도(cm)

측정 번호	관 입 심 도 (cm)			비 고
	물논바퀴 부착시(A)	물논바퀴미 부착시(B)	A/B (%)	
1	16	36	44.4	
2	13	24	54.2	
3	10	27	37.0	
4	12	20	60.0	
5	15	31	48.4	
6	10	24	41.7	
7	8	17	47.1	
8	6	14	42.9	
9	12	25	48.0	
10	11	24	45.8	
평균치	11.3	24.2	46.7	

표에서 알 수 있는 바와 같이 물논바퀴를 부착한 상태의 평균관입심도는 11.3cm로서 물논바퀴 미부착상태의 평균관입심도 24.2cm의 46.7%를 나타내어 그 효과는 큰 것으로 판단된다. 이 결과를 토대로 할때 연약한 저습답상에 PD재를 타설할 경우에도 물논바퀴를 부착한 상태에서 작업을 실시하면 바퀴빠짐 및 바퀴의 공회전등을 줄일 수 있고 이에 기인된 문제를 상당량 저감하여 효율적인 PD타설이 가능할 것으로 추정된다.

2. 주행방향 및 고저 지시대의 고안·제작

일반적으로 저습답의 표면은 답표면의 미세한 요철 및 강도불균일에 의하여 트랙터 바퀴의 빠짐깊이의 상이 등에 기인하여 드레인 설치장비를 일정심도로 지반속의 관입할 경우 표면의 표고차이만큼 심도가 불균일하게 되므로 PD재에 종방향 굴곡이 발생하여 높게 타설된 PD 부분에 공기가 누적될 우려가 있다. 일부의 PD부분이 높게 타설되어 PD속에 공기가 누적되면 종방향의 통수능력이 크게 저하할 가능성이 있으며 경우에 따라서는 통수불능현상이 발생할 수도 있다. 따라서 PD재를 저습답에 균일한 심도로 타설하는 것이 무엇보다 중요하며 이에 대한 대책의 일환으로 드레인 설치장비를 추가로 보완하였다. 먼저 측량용 트랜짓 지지대와 레이저 지시봉(Lazer pointer; 직경 1.5cm, 길이 15cm: OHP발표시에 일반적으로 이용하는 지적봉)를 조합한 주행방향 및 고저 지시대를 고안·제작하였다. 카메라 지지대는 46~116cm범위에서 높이조정이 가능하며, 지지대 상부에 설치된 카메라 높이 조정나사로 추가로 23cm의 높이조정이 가능하다. 일반적으로 카메라가 세트되는 판에 레이저 지시봉을 고정시키고 레이저 지시봉의 스위치는

버튼식으로 ON/OFF될 수 있게 하였다. 레이저 지시봉(투사거리:300m, 점 및 선으로 투사가능, 1.5V 건전지 2개로 20시간 연속 사용 가능)의 뒷면에는 90° 각도로 수평반 2개를 장착하여 봉의 수평위치 유지를 도모하였으며, 봉의 우측면에는 조준간을 설치하여 드레인 설치장비에 부착된 반사판을 쉽게 조준하여 찾을 수 있도록 하였다.

드레인 설치장치의 본체에는 드레인 타설유도판의 고정 지지대의 우측에 사격판과 유사한 형상의 아크릴판으로 된 유색의 반사판(가로:40cm, 세로:40cm)을 부착하였다. 반사판은 중심에 직경 10cm, 15cm인 2개의 원을 그려두었다.

주행방향 및 고저 지시대와 반사판을 이용하는 경우 그 원리는 1본의 PD재를 타설하기 위하여 트랙터가 출발점에 위치한 후 설계상의 일정심도 만큼 드레인 타설유도관을 관입시킨 상태에서 반사판의 중앙점에 레이저 지시봉의 빛이 반사될 수 있도록 드레인 타설이 끝나는 쪽의 인접한 눈에 주행방향 및 고저 지시대를 설치하고 높이 및 수평등을 조절하고 스위치를 ON상태로 유지한다. 트랙터 운전자는 주행해가면서 반사판에 투사된 레이저 점(붉은 점)이 십자선의 중앙점에서 크게 벗어나지 않도록 주행방향과 드레인 타설장치의 관입깊이를 조절한다. 이와같은 과정을 거치므로서 PD가 동일심도이며 일직선 타설이 가능하게 되었다. 또한 PD재가 수평으로 일정구배를 가지고 설치되는 경우는 출발점과 끝나는 점의 고저차를 확인한 뒤에 미리 배수개선 대상답의 측면에 10m 간격으로 거리를 표시해둔 후에 그 거리에 해당하는 고저차 만큼 레이저 점의 위치가 종방향으로 변하도록 한다.

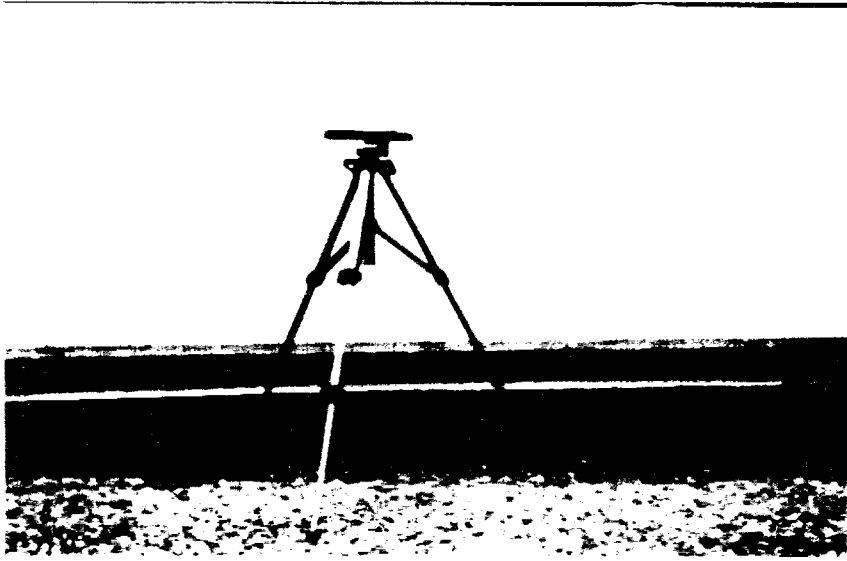


사진 7.6 보완된 악세서리 전경

제 8 장 환경친화적인 PD재 검토

제 1 절 PD의 열화특성

RDA(1985)가 우리 나라 각 지역의 65개 논을 대상으로 pH농도를 조사한 결과자료에 의하면 각 지역별 pH는 표 8.1과 같다.

표에서 나타낸바와 같이 우리 나라 논의 평균 pH도는 6.0이다. 이와 같은 pH도를 가진 논에서 장기간 방치후의 PD재 필터의 열화특성을 검토해볼 필요가 있다. 본 연구에서는 목포와 대호지구 2종의 흙 시료를 대상으로 pH농도를 3, 5, 7, 9, 11의 5종류로 임의 조정하고, 5종(CS2, GL, KL, TS 및 DH)의 PD재를 6개월간 묻어 방치한 후 PD재의 열화특성을 검토하기 위한 인장시험을 실시했다.

6개월 후의 PD재 인장시험결과를 표 8.2에 나타낸다. 표에서 알수 있는 바와 같이 5종의 석유화학제품인 PD는 6개월간의 다양한 pH농도의 점성토중에 묻어 두어도 별다른 열화특성을 나타내지 않는 것으로 나타났다. 이와같은 특성은 PD재를 배수재로 장기간 이용하는 경우에는 유리하게 되나, 농지의 지목변환 등으로 지하굴착이 동반되는 새로운 구조물을 축조할 경우에는 폐기물 처리의 문제점이 대두된다.

표 8.1 다양한 풍토지역 논의 pH도 (RDA, 1985)

지역별	pH도
산악지역	6.0
경기만	5.7
충청내륙지역	6.1
호남내륙지역	6.2
호남평야	5.9
영남내륙지역	6.0
동해안	6.0
남부지역	6.1
평균	6.0

표 8.2 PD재의 인장시험 결과

조건	항목	인장응력 (kgf/mm ²)	변형률 (%)	조건	항목	인장응력 (kgf/mm ²)	변형률 (%)
	시료명				시료명		
목포 pH3	TS	3.037	7.237	대호 pH3	TS	2.844	8.447
	GL	4.717	19.460		GL	4.831	22.200
	DH	5.984	31.260		DH	6.181	34.660
	KL	5.268	6.368		KL	5.657	7.513
	CS ₂	6.799	7.329		CS ₂	6.646	6.513
목포 pH5	TS	2.635	4.382	대호 pH5	TS	3.063	7.316
	GL	4.606	20.530		GL	4.535	17.630
	DH	6.276	34.790		DH	6.768	38.860
	KL	5.685	8.158		KL	5.350	6.711
	CS ₂	6.669	8.237		CS ₂	6.933	6.763
목포 pH7	TS	2.727	8.645	대호 pH7	TS	3.022	8.355
	GL	4.669	15.880		GL	4.524	17.250
	DH	6.110	30.180		DH	6.071	33.530
	KL	5.331	7.053		KL	5.610	6.882
	CS ₂	6.724	8.303		CS ₂	7.110	6.908
목포 pH9	TS	2.898	6.605	대호 pH9	TS	3.034	7.395
	GL	4.587	19.320		GL	4.382	17.160
	DH	6.185	34.740		DH	6.638	40.030
	KL	5.331	6.724		KL	5.610	6.855
	CS ₂	6.976	8.053		CS ₂	6.370	6.605
목포 pH11	TS	2.968	8.368	대호 pH11	TS	3.133	7.592
	GL	4.642	19.630		GL	4.701	21.720
	DH	6.177	32.670		DH	6.177	32.540
	KL	5.567	7.961		KL	5.512	6.829
	CS ₂	6.823	7.763		CS ₂	6.468	7.789

따라서, 드레인재로서의 역할이 종료되는 설치후 약5년이 경과되는 시점에 배수재가 섞어서 주변토와 동일하게 바뀌는 재료가 환경친화적인 측면에서 유리할 것으로 판단된다. 이에 그에 관하

여 간단히 기술한다.

제 2절 Fiber 드레인재

환경친화적인 배수재로서는 1979년에 동남아시아에서 연약지반의 개량재로 이용하고 있는 천연배수재(Fiber drain)의 적용이 바람직할 것으로 사료된다. 이 재료는 PD재와 유사한 형상을 가지며, 필터는 삼베(황마), 코어는 야자나무 껍질을 몇 가닥으로 꼬아서 만든 재료여서, 약 5년간의 배수기능을 수행한 후에는 자연적으로 썩어버리는 특징을 가지고 있어 우리 나라와 같이 농지전용이 빈번한 곳에서는 유리한 점이 많은 재료로 판단된다.

일본의 先端建設技術센터(1996)에 의하면 Fiber drain(FD)공법의 특징으로

1. 시공실적이 다수 있으며, 그 효과가 국제회의 등에서 확인되었다.
2. 드레인 통수능력, 필터능력, 강도특성 및 원성 등이 충분하며 타설시 손상이 적다.
3. 재료로써 황마와 야자껍질을 이용하므로 공급이 충분하고, 배수기능을 수행하고 난 후에 지중의 박테리아에 의해 분해되어 흙으로 바뀐다.

등을 들 수 있으며, 축압에 대한 통수능력변화를 직립조건상태에서 나타낸 통수능력 변화는 그림 8.1과 같다.

저습담의 축압을 $0.5\text{kgf}/\text{m}^2$ 라고 가정하여 동수구배를 최소치인

0.2로 하는 경우 통수능력(Q_v)이 $4 \times 10^{-1} \sim 2 \times 10^0 \text{ cm/sec}$ 를 나타내어 PD보다는 배수성이 떨어지나 저습답의 투수계수에 비하여 무척 높은 통수능력을 나타냄을 알 수 있다.

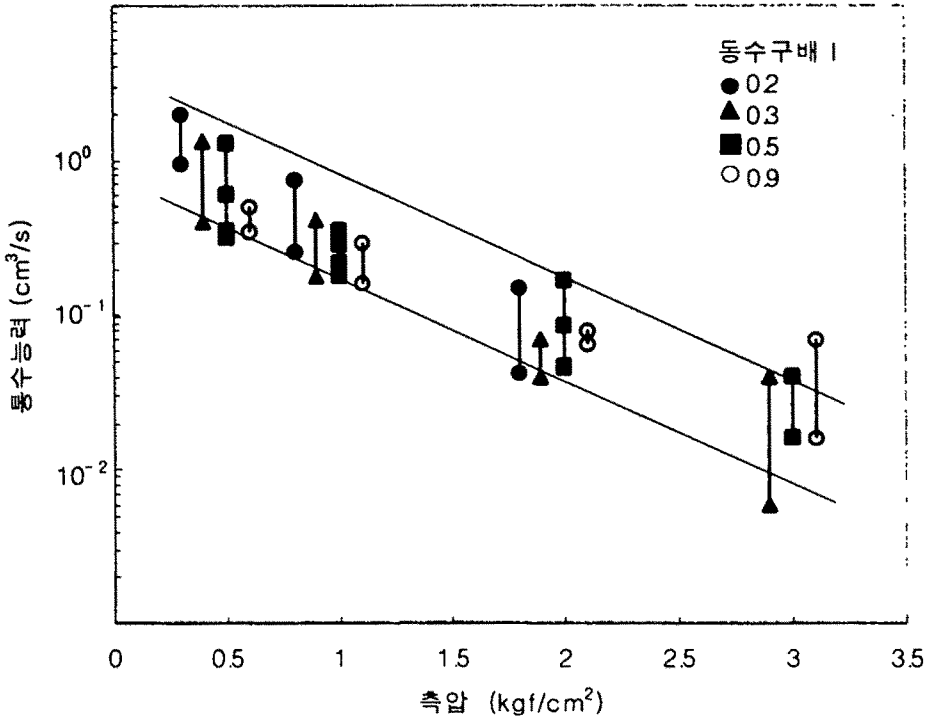


그림 8.1 측압 ~ 통수능력관계 (先端建設技術센터, 1996)

그림 8.2에는 FD의 인장강도 시험결과를 나타낸다. 扇谷 등 (1996)에 의하면 FD의 인장강도는 900kgf/폭을 나타내어 기존의 PD 재보다 뛰어난 강도를 가지고 있음을 알 수 있다.

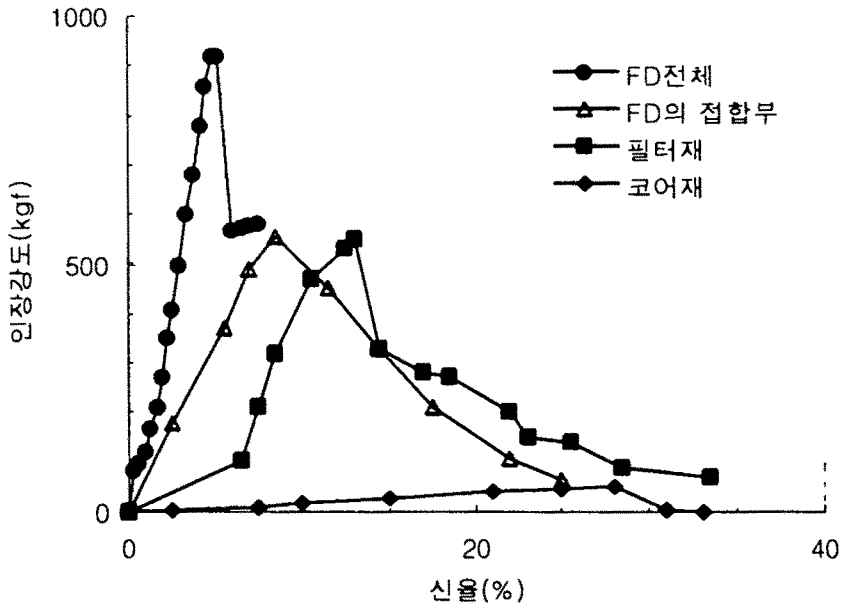


그림 8.2 FD의 인장강도 실험(扇谷 등(1996))

또한 唐 등(1995)에 의하여 FD의 부식성 시험이 실시되었다. 唐 등(1995)은 FD를 점토수, 수도수 및 증류수중에 126일간 보관하고 보관중의 인장강도 변화를 측정하였다. 그림 8.3에는 FD의 부식성 시험 결과를 나타낸다.

그림 중에서 알 수 있는 바와 같이 증류수중에 방치한 경우는 인장강도에 의한 FD의 열화특성을 나타내지 않지만, 점토수, 및 수도수중에 보관한 경우는 인장강도가 저하하여 초기치의 약 22%를 나타낸다. 그러나 126일 경과 후에도 배수기능은 유지될 수 있다고 보고되고 있으나, 저습담 배수 개선용 드레인 재료는 최소 3~5년의 배수기능은 수행될 필요가 있으므로 FD는 환경친화적인 특성을 가지고 있으나 향후 구체적인 연구가 추가되어서 저습담의 배수재료의 적합

성이 검토될 필요가 있는 재료임을 알 수 있다.

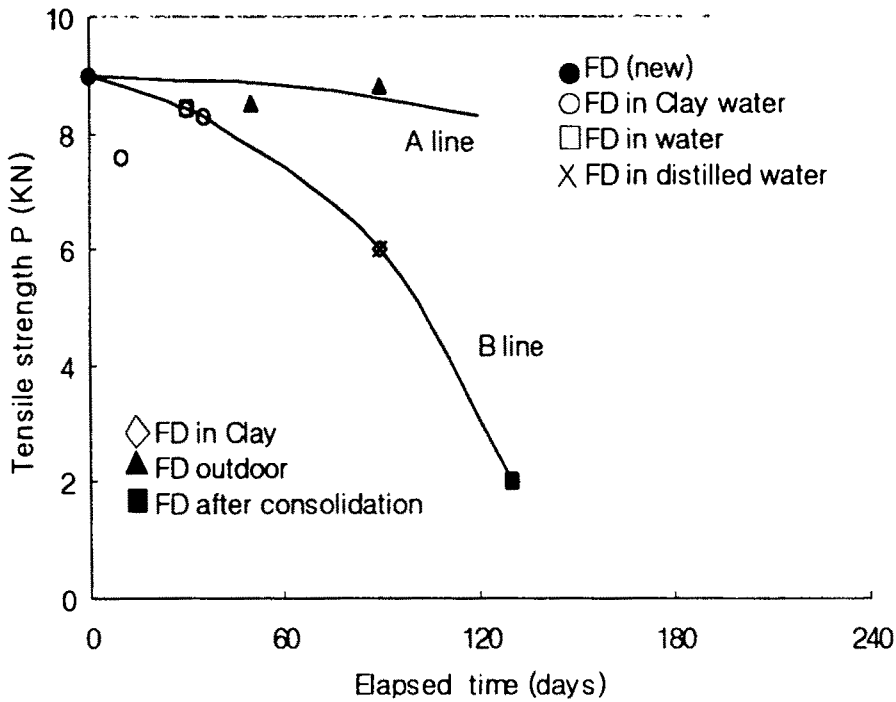


그림 8.3 FD의 부식성(唐 등 (1995))

또한, 필터재는 부피가 작으므로 기존의 석유화학제품인 PD재 필터를 사용하고, 중심코어재로서 유연탄 회(저회, Bottom ash)를 사용하면 배수로의 찌그러짐 방지와 환경친화적인 재료로서의 역할을 수행할 수 있을 것으로 판단되어 이와 관련된 시험을 수행하여 결과를 검토하기로 한다.

제3절 코어재로 유연탄 회의 이용

투수성이 큰 일반폐기물의 일종인 대구 염색공단의 열병합 발전소에서 부산되는 유연탄 회(bottom ash, BA)를 이용하여 환경친화적인 배수재의 이용과 경운 작업시에 증공상태 원형의 흡수관의 지그러짐 방지 등을 목적으로 했다. 유연탄 회는 대구 염색공단에서 하루에 100~130ton 이 부산되며 그 중 약 25%는 물리, 역학적인 검토 없이 토목재료로 활용하고 있으나 잔여분에 대해서는 그 처리에 큰 애로를 느끼는 제품이다. 유연탄 회는 대구광역시 보건환경 연구원(1995)에 의한 중금속 함유량 시험 결과 일반 폐기물로 분류되어 있어 저습담 개선용 배수재로 이용하여도 환경적인 문제는 유발되지 않을 것으로 판단된다. 본 연구에 사용한 유연탄 회는 유연탄 연소시 보일러 저부로 떨어지는 저회(Bottom Ash, BA)를 대상으로 했으며, 저회는 보일러의 저부로 낙하한 용융상태의 회들이 급냉, 고형화되어 괴상으로 존재하나 이들을 분쇄기를 사용하여 25mm이하의 입도로 분쇄시켰다. 표 8.3에 유연탄회(BA)의 물리적 특성을 나타낸다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 유연탄회의 비중은 2.36, 최대건조밀도는 $1.51\text{gf}/\text{cm}^3$ 으로 양자 모두 일반적인 토사보다 약간 낮은 값을 나타내고, 투수계수는 원상태인 경우 $1.11 \times 10^{-1}\text{cm}/\text{sec}$ 이고 γ_{dmax} 의 90%상태로 다진 경우에도 $5.77 \times 10^{-3}\text{cm}/\text{sec}$ 로 비교적 높은 값을 나타낸다. BA의 흡수율은 6.75%이며 KSF 2510에 의거하여 실시한 유기불순물 시험 결과 용액이

표 8.3 유연탄회(BA)의 물리적 특성

항 목		항 목	
비 중 (G_s)	2.36	최대건조밀도(γ_{dmax} , gf/cm^3)	1.51
소성지수 (I_p , %)	NP	최적 함수비(OMC, %)	20
균등계수 (C_u)	10.0	투수계수(원상태) (k , cm/sec)	1.11×10^{-1}
곡율계수 (C_g)	2.5	" (다짐시) (")	5.77×10^{-3}
유효입경(d_{10} , mm)	0.39	통 일 분 류	SW
흡수율 (%)	6.75	건조단위중량 (γ_d , gf/cm^3)	0.997

표 8.4 유연탄회(BA)의 화학적 특성(한국화학시험검사소, 1992)

시험항목	단위	결과치	시험항목	단위	결과치
SiO ₂	%	54.0	MnO	%	0.22
Igloss	%	8.08	Na ₂ O	%	1.42
Al ₂ O ₃ l	%	18.3	SrO	%	0.08
BaO	%	0.23	TiO ₂	%	0.69
CaO	%	2.69	V ₂ O ₃	%	0.02
Fe ₂ O ₃	%	9.24	ZrO ₂	%	0.06
K ₂ O	%	2.67	S	%	0.41
MgO	%	1.2			

무색으로 나타나 유기불순물을 함유하고 있지 않다.

표 8.4에는 한국화학시험검사소(1992)에서 실시한 유연탄회의 화학적 특성 시험결과를 나타낸다. 일반적인 화학성분은 실리카(SiO₂)가 54%, 알루미나(Al₂O₂)가 18.3%, 산화제2철(Fe₂O₂)이 9.24%로 이들이 점유하는 비율이 전체의 81.5%이다.

표 8.4에는 유연탄회의 중금속 함유량 시험 결과를 나타낸다. 송동철 등(1992)에 의하면 석탄 등의 회분은 식물중의 무기질과 석탄 생성시에 혼입된 점토와 식물 등으로 이루어지며, 대부분 수은, 카드뮴, 납, 비소 등의 금속을 미량 함유하고 있기 때문에 이를 성토재 등으로 활용할 경우에는 지하수 오염문제 등이 발생할 수 있으므로 용출특성을 검토해 볼 필요가 있다고 보고하고 있다. 그러나 대구광역시 보건환경연구원(1995)에서 실시한 유연탄회의 중금속 함유량시험 결과에 있어서는 납(Pb)이 $0.04\text{mg}/\ell$ 와 유기인이 $0.004\text{mg}/\ell$ 함유되어 있으나 그 외의 중금속 성분은 전혀 검출되지 않는 것으로 되어있다. 수질·환경 관계법규(1992)에 기술된 환경기준치중 음용수 기준에 의하면 납(Pb)이 $0.05\text{mg}/\ell$ 와 청정지역에서 유기인이 $0.2\text{mg}/\ell$ 이므로 본 BA의 납 및 유기인 성분은 기준치 이하를 나타냄을 알 수 있다. 또한 대구광역시 보건환경연구원(1995)은 대구 염색공단의 열병합 발전소에서 부산물로 생성되는 유연탄회를 대상으로 Pb외 9개 항목에 대하여 검사하여 일반 폐기물로 분류하고 있다. 따라서 BA를 배수 필터재로서 활용할 때 지하수 오염 등의 문제를 일으키지 않으므로 환경적인 측면에서 문제가 없을 것으로 판단된다.

표 8.6에는 유연탄회(BA)의 대표적인 역학적 특성을 나타낸다. 역학특성은 압밀과 전단특성으로 나누어 실시하였고 시료의 조건은 $0.9\gamma_{dmax}$ 이다. 압밀특성은 표준압밀시험으로 구하였으며 전단특성은 직접전단시험에 의해 구한 결과이다.

표 8.5 유연탄 회(BA)의 중금속 함유량 시험결과
(대구광역시 보건환경연구원, 1995)

검사항목	검사결과	단위	비고
Pb	0.040	mg/ℓ	
Cu	0.000	"	
As	0.000	"	
Hg	0.000	"	
Cd	0.000	"	
Cr ⁺⁶	0.000	"	
CN	0.000	"	
유기인	0.0040	"	
Tri C.E.	불검출	"	
Tetra CE	불검출	"	

표 8.6 유연탄 회의 역학적 특성

항 목		항 목	
압축지수 (C _c)	0.052	포화시점착력 (C _{sat})	0.22kgf/cm ²
팽창지수 (C _s)	0.016	습윤시점착력 (c _t)	0.32kgf/cm ²
체적압축계수(m _v)	1.7×10 ⁻² cm ² /kg	포화시내부마찰각(φ _{sat})	35.5°
압밀계수 (c _v)	3.17×10 ⁻⁴ m ² /sec	습윤시내부마찰각(φ _t)	52.9°

현장에 유연탄 회를 이용하여 배수개선을 실시할 경우는 필터 속에 유연탄 회를 최대 건조 밀도 상태로 다져서 이용하는 것이 아니고 적당한 상대밀도 상태로 심체를 형성하기 때문에 상대 밀도에 따른 투수계수를 산정하여 그에 적합한 투수계수치를 이용하는 것이 바람직하다. 그림 8.4에는 유연탄 회 자체와 임의로 입도를 조정 한 상태의 입도분포곡선을 나타낸다.

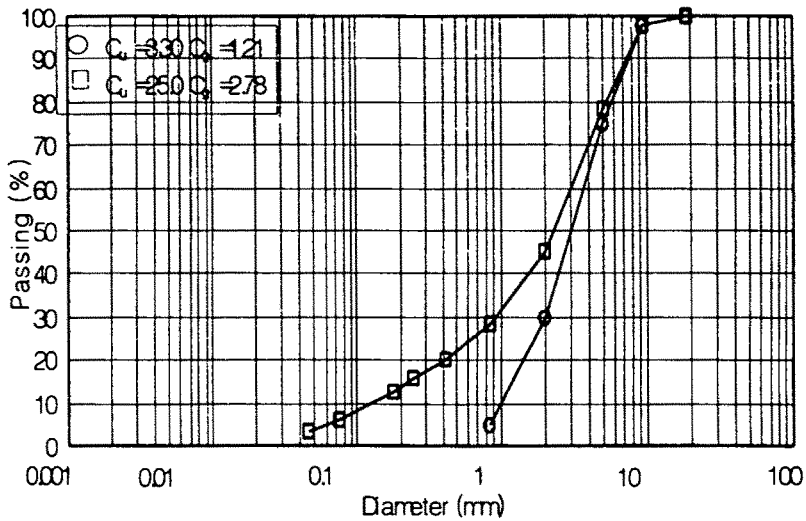


그림 8.4 유연탄회 및 투수시험을 위해 임의로 조정한 입도분포 곡선

그림 8.5에는 유연탄회를 그림 8.4로 입도조정한 상태에서 상대 밀도별로 투수계수 값을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 상대밀도가 감소함에 따라 투수계수는 직선적으로 감소하는 경향을 나타내며, 그 범위는 상대밀도 100%일 때 $k = 9.7 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ 이며, 상대밀도 60%에서 $k = 2.7 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ 을 나타냈다.

그림 8.6에는 현장상태를 고려하여 그림 8.4에서 나타낸 입도조정시료와 현장조건을 재현하여 국내, 외 2종의 필터 슬리브(DH와 Terrum)를 1매 부착한 상태에서 각각 10일 정도의 장기 투수시험을 실시한 결과이다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 장기 투수시험 결과 BA자체 및 영국산 Terrum 부직포를 이용한 경우는 경과시간에 따른 투수계수

의 저하는 거의 발생하지 않으나 국산 필터 슬리브를 이용한 경우에는 경과일수 약 4일까지 투수계수가 저하하다가 그 후에는 안정되는 양상을 나타낸다.

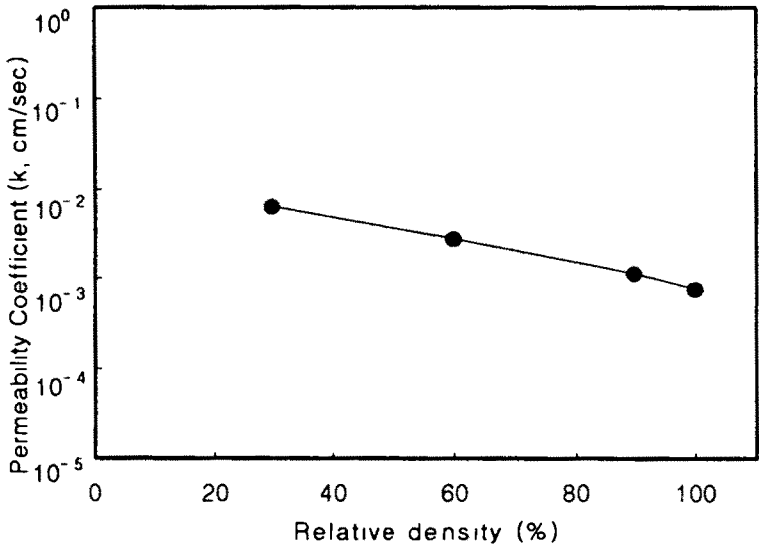


그림 8.5 상대밀도에 따른 유연탄 회의 투수계수 변화

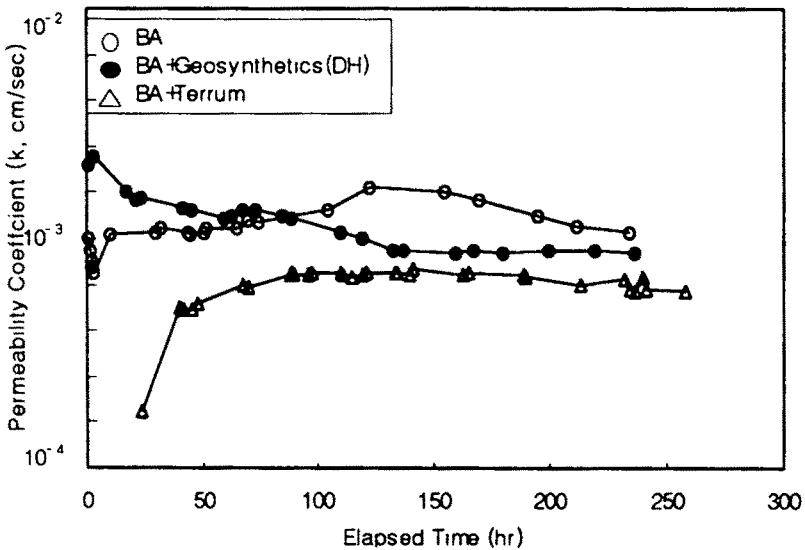


그림 8.6 유연탄회 자체 및 필터 슬리브와의 복합 투수계수

10여일간 장기투수시험후의 유연탄 회 자체 및 국산(DH) 및 영국산 (Terrum)부직포를 필터 슬리브로 이용한 복합 투수계수는 각각 $k=9.7 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$, $2.7 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ 및 $9.7 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ 를 나타냈다.

전술한 유연탄회를 이용한 통수능력시험을 위해서 먼저 흡수관의 형상 유지를 목적으로 국외 제품 중에서 코어와 필터 슬리브가 분리형인 메브라 드레인(Mebra drain)의 필터 슬리브 속에 유연탄회를 단위중량이 1.15~1.20g/cm³로 되도록 가볍게 진동을 주며 소정의 길이까지 채운 상태에서 통수능력시험을 실시했다. 필터 슬리브의 외부표면은 앞의 MCD시험과 동일하게 비닐관과 면 테이프로 견고하게 밀봉시켰다. 시험재의 양단은 통수시험시 유연탄의 유실을 방지하기 위해 No. 100(0.149mm)체 크기의 망으로 완전히 막았다.

시험 준비단계에서 장시간에 걸쳐 포화가 되도록 유입수조에 시험재를 장치시킨 상태에서 서서히 물을 흘려 보내고 유출구쪽의 시험재를 높은 위치에 고정시켜 방치하였다. 그 다음 단계에서는 시험재를 유입구쪽에서부터 유출구쪽으로 높게 들면서 서서히 이동하는 반복 작업으로 공기를 제거하였다.

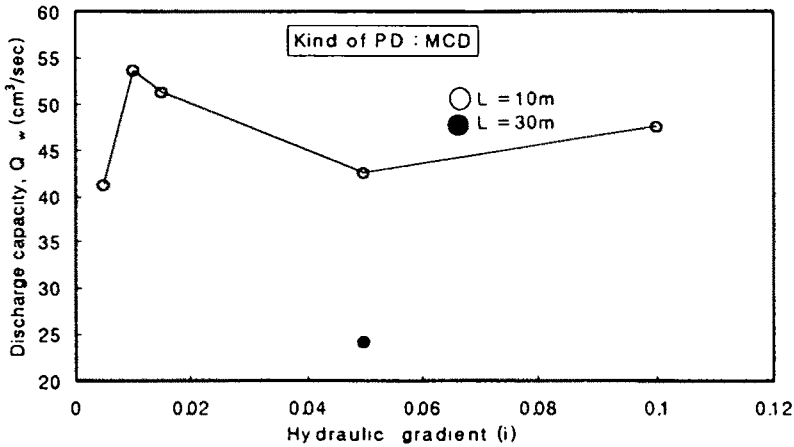


그림 8.7 유연탄 회를 이용한 드레인의 통수시험결과

그림 8.7에는 길이 $L=10m$, $30m$ 의 유연탄 회 드레인재의 동수구배별 통수능력별 통수능력을 나타낸다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 유연탄 회 드레인재는 PD재와는 달리 동수구배에 따른 통수능력의 변화는 상대적으로 작은 것을 알 수 있다. 통수능력 $Q_v=41 \sim 54cm^3/sec$ 의 범위를 나타내어 판형 PD재의 $Q_v=209 \sim 346cm^3/sec$ 에 비하여 16~20%의 값을 나타낸다.

따라서, 길이가 긴, 즉 대구획의 배수개선사업에는 다소 적용상의 문제가 있을 것으로 판단되나 소규모지구에는 적용이 가능한 것으로 사료된다. 또한, $30m$ 길이에 대하여 동수구배 $i=0.05$ 의 상태에서 Q_v 는 $24cm^3/sec$ 를 나타내었다. 이는 유연탄 회의 마찰수두 손실이 큰 것에 기인되는 현상으로 판단된다.

시험의 특성상 완전포화의 어려움과 드레인의 굴곡 등에 기인하여 통수능력의 값이 다소 불규칙한 경향을 보이고 있다. 그리고 통수시험시 통수량이 적어 메스실린더로 측정이 용이하지 못하여 각 길이별 통수능력을 얻어내지 못하였으나 유연탄 회(BA)를 이용

한 드레인도 투수계수가 매우 낮은 CH, CL등의 저습답을 대상으로 하는 경우에는 충분한 배수기능을 발휘할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서, 환경친화적이며 경운 작업시 흡수관의 파손이 발생할 가능성이 적은 유연탄 회 드레인재의 적극 활용이 바람직할 것으로 판단된다.

제 4 절 시 험 포 의 수 질 분 석

현장 시험포의 수질영향을 분석하기 위하여 시험포에 공급되는 관개수(시험포에 들어오는 물)와 시험포에서 드레인재를 통하여 배수되는 수질을 각각 채취하였다. 대상지구는 군산에 설치된 주곡지구로서 1997년 9월 9일 시료를 채취하였다.

수질결과는 표 8.7와 같다.

표에서와 같이 수소이온농도, 화학적산소요구량, 총질소, 총인 등은 시험포에 유입되는 관개수일 때 보다 드레인재를 통하여 배수될 때가 현저하게 저하되어 수질이 개선되고 있음을 보여주고 있다.

환경정책 기본법 제10조와 동시행령 제2조에 따르면 농업용수기준은 수소이온농도 6.0~8.5, 화학적 산소요구량 8.0이하, 총질소 1.0mg/l 이하, 총인 0.1이하로 규정하고 있다. 유입관 개수 즉, 드레인을 통과하기 전의 저습답의 수질은 이 기준을 초과하고 있음에 대하여 유출관개수에서 이 기준을 모두 충족시키고 있으므로 PD재에 의한 배수개선시 수질의 개선효과도 기할 수 있음을 알 수 있다.

표 8.7 시험포(주곡지구) 수질시험 결과

시료구분	PH 수소이온 농도	EC 전기전도도 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	COD 화학적 산소요구량 (mg/ℓ)	T-N 총질소 (mg/ℓ)	T-P 총인 (mg/ℓ)	비고
유입 관개수	7.0	248	9.3	3.136	0.168	
유출 관개수	6.2	253	7.6	0.784	0.086	

제 9 장 PD재의 배수 메커니즘 규명 및 최적 타설간격 결정

제 1 절 서 설

한(1971)은 플라스틱 두더지 암거에 의한 계염시험을 실시하였으며, 이(1973)는 암거배수 설치를 점토에서 깊이 4.5ft(14m)에서 20ft(6.1m)간격이 적당하다고 하였다. 정(1974)은 두더지 암거 실증 시험을 실시하였고, 농진공(1976)은 미면간척지에 계염배수 시험을 하였으며, 권(1976)은 암거 기능을 향상시킬 수 있는 암거 보호재료 및 암거보호방법을 규명하기 위한 시험을 실시하였다. 또한, FAO의 지원하에 실시된 바 있는 한국의 지하배수 조사연구 보고서(1981)에 의하면 5개의 시험지구를 선정하여 암거배수 시험을 실시하고 한국의 토양 특성상 실트분이 많아서 물에 대하여 불안정하며 특히 필터 막힘에 주의해야 하고 점질계의 담(투수계수 $k=10^{-5}$ cm/sec이하인 난투수성의 담)에서는 이론식 방법보다는 실제적 방법을 채용하고 있어 한국에서의 이론식 위주의 계획을 재고할 필요가 있다고 지적하였다.

농어촌진흥공사(1993)에서는 암거파이프의 매설깊이를 50cm로 하여도 시판되고 있는 파이프중 가장 강도가 작은 망상관이라도 그 강도가 충분하다고 하였고, 암거 시공후 수년이 경과해 경반이 발달해 가면 암거의 기능이 저하되면 이 경우는 경반을 파괴해 줄과 동시에 왕겨층 상부의 오래된 부분을 교환하여 왕겨를 표층까지 보충해 주면 암거 기능을 회복시켜줄 수 있다고 하였다.

지금까지 앞에서 살펴본 바와 같이 암거배수의 사용재료에 있어 천연재료인 쇄, 쇄석 등이 사용되다가 점차적으로 인공재료인 PVC유공관이 단독 또는 소수재(왕겨, 모래, 깻자갈등)와 병행하여 사용되고 있다. 그러나 암거 타설시에 많은 노력과 경비가 소요되고 재료공급 측면에서도 문제가 있다. 또한, 암거 타설 폭이 넓으므로 지반의 교란범위가 커서 토양중의 간극수 이동이 지연되는 경향이 있다.

이와 같은 단점을 보완하는 측면에서 밴드 형태의 플라스틱 드레인(PD, 폭×두께 = 10cm × 3mm)재를 암거대용으로 사용코자 한다.

제2절 재래식 암거배수이론

지중에서 지하수위 변화를 추정하는 것은 대단히 복잡하다. 지하수위에 영향을 미치는 인자로는 강우 및 외부로부터의 유입수, 증발량 및 외부로의 유출수, 토양특성, 배수거의 심도간격, 배수거의 횡단면적, 배수거의 수위 등을 들 수 있는데 이들 인자간의 상호관계를 정확히 구명하여 지하수위 변화를 추정하는 것은 복잡하므로 다음과 같은 가정하에 정류 상태와 부정류 상태 공식을 실용화하여 사용하고 있다.

1. 지하수위의 변화는 이차원 흐름이다.
2. 암거 구역내의 강우 또는 기타 외부유입수 등에 의한 보충 수량은 균일하다.
3. 토층내의 토질은 균질하여 투수계수가 부분적으로 변화하지 않으며 등방성이다.

정류상태 공식은 암거 유출량과 지하수 보충량이 동일하며, 결과적으로 지하수위의 변화가 없다는 가정하에 이루어 졌으며, 부정류

상태 공식은 지하수 보충량이 일정하지 않으므로 이 보충량의 영향으로 시간에 따라 지하수위의 변화를 고려하여 이루어진 공식이다.

최근에 萩野 등(1991)은 범용화 경지 조성을 위하여 일반적인 다음과 같은 암거배수 설계이론을 제시하고 있다.

범용답은 관개기에는 인접하는 답이나 소용수로로부터의 침투수가 있어 항상 토양은 습한 상태로 된다. 따라서 계획기준우량을 (가령 5년 혹은 3년 확률강우량) 생각할 수 있다. 유출의 성분으로서 지표유출, 강하 침투량, 증발산 및 토양중으로 허용되는 저류수를 생각할 수 있다. 우선 지표유출률을 γ 라 하면 γR , 강하침투량과 증발산의 합인 최대치를 계획일감수심 $F(\text{mm/day}$: 포장정비사업에서 채용된 값)로 하여 토양중의 허용 저류수량을 S 라 하고 전면(田面)답수심을 0 , T 를 계획배수시간(d)이라 하면, 계획일암거배수량 $D(\text{mm}/d)$ 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$D = \frac{1}{T} [(1-r)R - S] - F \tag{9.1}$$

식(9.1)은 지표유출이 크고, 작토층이 두꺼우며 간극률과 강하 침투량이 크면, D 가 적어지는 것을 알 수 있다. 즉, 범용화 경지의 배수계획에는 지표배수와 감수심과 작토층의 두께를 각각 어느 정도로 취급할 것인가, 또한 포장관리에서는 이들 3요소에 대하여 적절한 조치를 강구하여야 할 것인가를 수도작과 전작이용의 양면에서 적합한 값을 찾아내는데 있다.

그리고 식(9.1)은 암거배수 시공의 판별식이기도 하다. D 가 0 또

는 부(-)가 되면 계획 기준우량에 대하여 과잉된 담수는 인정할 수 없게 되므로 이 경우에 암거는 불필요하게 된다. 반대로 D가 큰 값이 되면 암거를 설치하기 위한 투자가 과대하게 된다. 이와 같은 경우에는 식(9.1)의 3개 요소를 재검토하여 D를 적게 하기 위한 가능한 방법이 고려되어야 하며, D의 상한치는 50mm/day 정도이다.

위에서 구한 계획일암거 배수량 D는 반드시 암거에 의하여 배제되어야 한다. 암거간격의 결정법에는 종래의 여러 가지 이론식이나 경험식이 고려되어 제안되고 있다. 여기에서는 전술한 바와 같이 경지의 조건에서 작토층을 투수층으로 하고 경반보다 하층은 불투수성 심도로 하여 토양중에 침투된 우수는 작토층을 수평으로 흘러서 암거구에 달하는 것으로 하고 Dupuit - Forchheimer 식에 의하여 그림 9.1의 기호를 사용하면,

$$q = -kh \frac{dh}{dx} \tag{9.2}$$

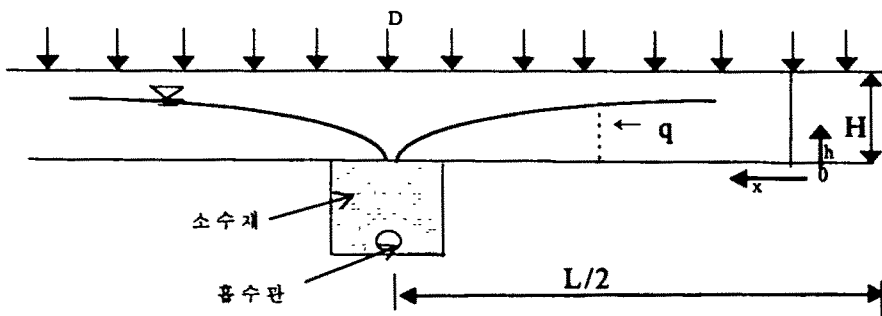


그림 9.1 암거배수 모형도와 기호 설명

$$q = D \cdot x \quad (9.3)$$

여기서, q : 단위폭당 유량

k : 투수계수

식(9.2)와 (9.3)에서 q 를 소거하여 적분하면,

$$D \int_x x dx = -k \int_h h dh \quad (9.4)$$

$x=0$ 일 때 $h=H$ (H 는 작토층의 두께이며, 암거사이의 중앙에서 수면이 지표면에서 일치한다)이므로

$$\frac{D}{k} X^2 + h^2 = H^2 \quad (9.5)$$

이 식은 계획일암거배수량을 D , 암거간격을 L 이라 하면 수면형은 암거중앙부에서 지표면에 접하는 장원형으로 되어 있음을 나타낸다.

식(5)에서 암거직상부 즉, $x=L/2$ 일 때, $h=0$ (암거직상부에서 수면이 작토층 바닥에 일치한다)라 놓으면,

$$L = 2H \sqrt{\frac{k}{D}} \quad (9.6)$$

이 된다. 식(9.6)은 Rothe, Hooghoudt, Visser, Englund 등에 의하여 채용된 일반적인 암거 간격 결정식이다. 식(6)은 작토층에의 유입량이 지표면상에 담수하지 않는 조건을 고려하면 다음과 같이 유

도할 수가 있다.

작토층내를 거리 ($L/2$) 흐르는데 필요한 시간을 t^* 라고 하고 작토층내의 저류량의 최대치는 λH 이므로 답수하지 않는 조건은,

$$Dt^* \leq \lambda H \quad (9.7)$$

로 나타낼 수 있다. 여기에서 λ 는 작토층의 평균 유효간극률이다. t^* 는 $x=0 \sim L/2$ 의 평균유속 V^* 는,

$$V^* = \frac{\frac{1}{\lambda} \int_0^{\frac{L}{2}} V dx}{\frac{L}{2}} = \frac{1}{\lambda} \frac{kH}{2} \quad (9.8)$$

로부터 구하면

$$t^* = \frac{\frac{L}{2}}{V^*} = \frac{(\frac{L}{2})^2}{(\frac{1}{\lambda})} kH \quad (9.9)$$

이 된다.

식(9.9)를 식(9.7)에 대입하면 식(9.7)의 등호가 성립하는 경우 (저류심이 지표면에 도달한 경우 비답수 포화 상태)를 고려하면

$$D \left[\frac{(\frac{L}{2})^2}{(\frac{1}{\lambda})} kH \right] = \lambda H \quad (9.10)$$

로부터 식(9.6)의

$$L=2H\sqrt{\frac{k}{D}} \quad (9.11)$$

L를 얻는다.

식(9.6)이 암거설계에 이용되는 암거간격 결정식이 되고 계획암거 배수량 D, 작토층 두께 H, 투수계수 k의 크기를 알게되면 식(9.6)에서 암거간격 L를 결정할 수 있다. 계획암거 배수량 D에 대하여는 논에서 20mm/d(암거를 전환답에서는 40mm/d 정도이다. 특히 잘하기 위해서는 각각 30mm/d, 60mm/d 정도), 작토층 두께 H는 0.15m정도이다(포장정비 H의 목표는 0.15m로 하는 경우가 많다.).

또한, 포장에서 실측하여 H의 대표치를 결정하는 것은 비교적 용이하다.

투수계수 k는 암거배수에 유효한 작토층(투수층)의 투수계수이다. k는 포장에서 실측한 현장투수계수(k_s)를 보정계수(α)로 보정하여 투수계수 k를 추정한다.

제3절 플라스틱 드레인에 대한 이론

플라스틱 드레인재는 본래 연약지반의 지반 개량 공법중의 하나인 연직 드레인 공법으로 사용되어온 모래나 종이 섬유 대신에 플라스틱보드를 사용하여 압밀을 촉진시키는데 있어 그 배수 효과가 뛰어나고 설치하기가 용이하여 각광을 받기 시작하였다.

드레인의 집수능력은 드레인의 체적이 아니고 표면적에 의하여 결

정되며 체적은 통수능력에 관계되는데, 비표면적을 최대로 하는 것은 밴드 형태이므로 통수 문제만 극복할 수 있다면 드레인 형태로는 밴드 형태가 최적인 점을 고려하여 고안되었다.

PD재는 최초 1937년에 스웨덴의 Kjellman에 의해 고안되었는데 이론해석은 1948년에 Barron이 중심부의 샌드 드레인이 설치된 원통토괴의 압밀해석을 위한 최초의 해를 제시하였고, 그 방정식은 Terzaghi 1차원 압밀방정식의 가정에 기초를 두고 연직배수와 방사형 배수를 고려하는 식으로 확장되어 점토의 투수계수 및 체적 압축계수가 압밀중에 변화하지 않는다는 조건하에 식을 유도하였고 이를 Hansbo(1979)가 PD재의 드레인에 적용하였다.

전술한 바와 같이 플라스틱 드레인재는 주로 연약지반을 개량할 목적으로 연직배수공법에 사용되었다. 따라서, 이에 대한 이론도 연직배수에 대한 이론을 토대로 그대로 도입하고 있다.

연직배수에 대한 이론은 Barron(1948)이 Terzaghi의 1차원 압밀이론을 근거로하여 (1) 지표면에서의 수직응력이 변형시 일정하게 남아 있는 경우(free vertical strain)와 (2) 지표면에서의 변형이 균등하게 발생하는 경우(equal vertical strain)에 대하여 방사선방향으로 배수되는 이론을 개발하였다. 이를 Hansbo가 Barron의 이론을 근거로 하여 판형 드레인에 적용할 수 있는 이론을 수정하여 제안하였다.

이와 같은 모델을 가정하면 잉여간극수 배제에 소요되는 시간 t 및 배제속도에 영향을 주는 요소 μ 와 수평방향의 평균압밀도는 Hansbo(1979)가 연직배수재에서 제안한 이론과 같은 개념으로 생각할 수 있다.

수평방향의 압밀도는,

$$U_h = 1 - \exp\left(-\frac{8T_h}{\mu}\right) \quad (9.12)$$

$$\mu = F(n) + F(s) + F(r) \quad (9.13)$$

$$T_h = \mu \cdot \ln \frac{1}{1 - U_h} \quad (9.14)$$

$$t = d_e^2 \cdot \frac{T_h}{c_h} \quad (9.15)$$

여기서, U_h : 어느 깊이에서의 평균압밀도

T_h : 시간계수

$F(n)$: 배수재의 타설간격 항

$F(s)$: 스미어(smear)의 항

$F(r)$: 웰 레지스턴스(well resistance)의 항

d_e : 배수재의 등가 영향원의 직경

c_h : 수평방향 압밀계수

그림 9.2에서는 지반 및 PD조건이 표 9.1의 값인 경우에 대하여 3종의 영향치를 PD재의 등가영향원의 직경과 등가직경비 $n(=d_e/d_w)=10 \sim 50$ 의 범위에서 도시한 것이다. $F(n)$ 및 $F(s)$ 의 값은 표 9.1에 나타낸 바와 같이 모든 경우에 있어서 같은 값으로 하였다.

표 9.1 지반 및 PD재의 조건

구분	Parameter		비고
	PD재의 길이 (cm)	$K_c(=K_h)$ (cm/sec)	
A	1000	10^{-6}	$d_w=5\text{cm}$ $K_w=10\text{cm/sec}$ $s(d_s/d_w)=3$ $K_c/K_w=3$
B	3000	10^{-7}	
C	5000	10^{-6}	
D	5000	10^{-7}	
E	5000	10^{-6}	

여기서, d_w : PD재의 등치환산 직경

d_s : 스미어 존의 직경

k_c/k_s : 불교란수평투수계수와 스미어 존의 투수계수비

k_w : PD재의 종방향 투수계수

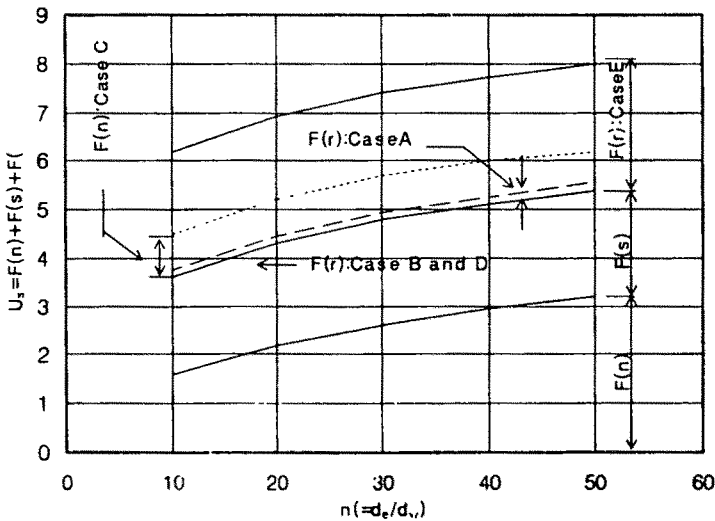


그림 9.2 3종의 영향치 산정 결과

점토지반 ($k_h=10^{-7}$ cm/sec, cases B, D)의 경우는 PD의 길이 L의 50m인 경우에도 웰 레지스턴스의 영향이 작다. 한편 투수계수가 높은 실트지반 ($k_h=10^{-5}$ cm/sec, cases A, C, E)의 경우는 PD재 타설 간격 및 스미어 존의 영향과 같이 웰 레지스턴스의 영향이 크고, L=10m인 경우에도 무시할 수 없는 정도이다. 따라서 저습담의 토질이 실트지반의 경우에는 PD재의 수평방향 통수시험은 중요한 의미를 갖게 된다.

현장 설계에 있어서 간극수 배제속도에 영향을 주는 요소로서 PD재의 간격만의 영향을 고려하는 경우가 많다. Hansbo(1979)는 드레인 간격의 영향을 구하는 식을 다음과 같이 제안하고 있다.

$$F(n) = \left[\frac{n^2}{(n^2-1)} \right] \ln n - \frac{(3n^2-1)}{4n^2}$$

또는

$$F(n) = \left[\frac{n^2}{(n^2-1)} \right] \ln n - \frac{3}{4} + \left(\frac{1}{4n^2} \right) \quad (9.16)$$

여기서, PD재의 등가영향원의 직경 d_e 는 PD재의 등가직경 $d_w (=2(a+b)/\pi)$ 의 20배 이상이 일반적이므로 $1/4n^2$ 을 무시하면 식 (16)과 같은 근사식을 얻을 수 있다. 여기서, a 는 PD재의 폭, b 는 PD재의 두께이다.

$$F(n) = \ln n - \frac{3}{4} \quad (9.17)$$

Hansbo(1979)는 스미어 존이 간극수 배제속도에 미치는 영향을 다

음과 같이 제안하고 있다.

$$F(s) = \left[\left(\frac{k_h}{k_s} \right) - 1 \right] \ln \left(\frac{d_s}{d_w} \right) \quad (9.18)$$

여기서, d_s : 스미어 존의 직경

Rixner 등(1986)은 스미어 존이 간극수 배제속도에 미치는 영향은 PD재의 타설간격의 영향과 같은 정도 또는 그 이상이며, 대표적인 범위의 $F(n)$ 에 대하여 $F(s)$ 의 값을 이론적으로 구하여 $F(s)/F(n)=1 \sim 3$ 인 것을 보고하고 있다.

Madhav, Park and Miura(1993)는 스미어 존의 실측치에 근거하여 PD재의 특성을 고려한 2층 스미어 존 모델을 제안하였다. 그림 9.3는 모형 맨드렐 타설에 의한 주위지반의 교란범위 및 저하치를 맨드렐로부터 떨어진 거리에 대하여 나타냈다.

이와 같은 현상은 드레인 설치 장비로 PD재를 지반중에 타설할 경우에도 발생하며 그림 9.4에는 스미어 존의 발생이 없는 경우(no smear zone), 1개의 스미어 존이 발생하는 경우(1 smear zone) 및 두층의 스미어 존이 생기는 경우(3 smear zone)와의 해석 결과를 비교하였다. 여기서, 1 smear zone은 스미어 존이 PD재 유효폭 a_c 의 3배인 경우이며, 이 영역에서 투수계수 k_s 는 불교란 존의 k_c 인 50%인 경우이다. 2 smear zone의 경우는 실측 결과에 의해 불교란 존 k_c 는 50%, 내부 존인 $k_{s,i}$ 는 20%인 경우이다. 이 경우 간극수의 배수지현 현상은 현저하며 50% 간극수를 배수하는데 상당하는 T_{h50} 은 스미어 존이 발생 않는 경우의 3.3배에 달한다.

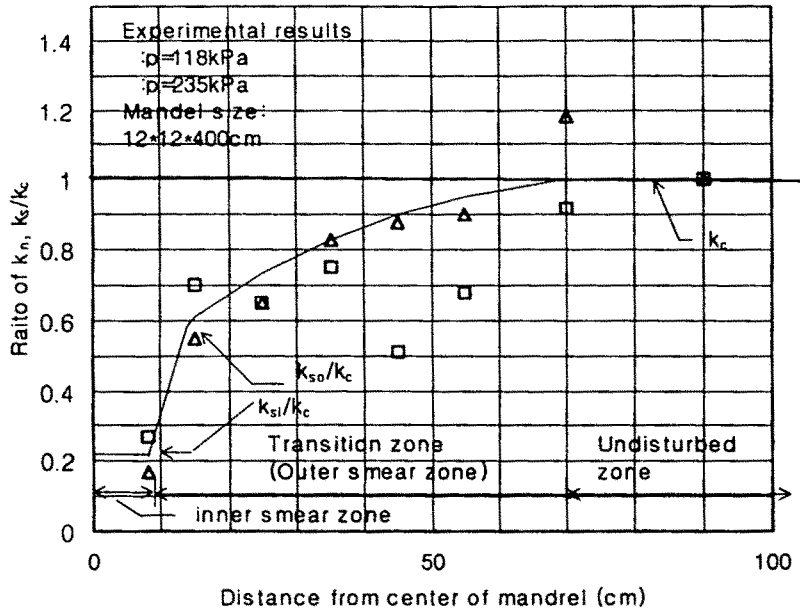


그림 9.3 맨드릴 타입에 의한 교란범위 및 투수계수의 저하

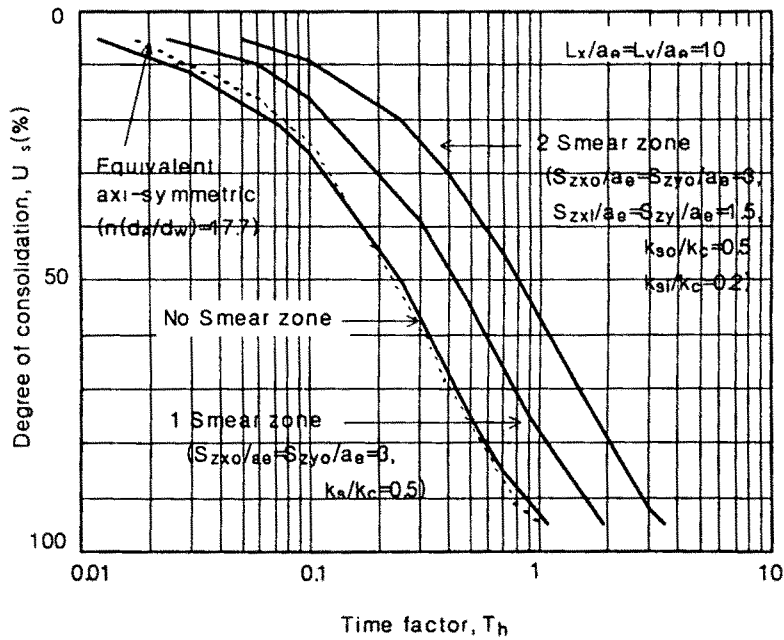


그림 9.4 스미어 존에 의한 간극수의 배제 속도의 변화

이상의 해석 결과로 볼 때 PD재의 타설을 위한 쟁기 작업으로 생기는 스미어 존이 투수계수는 불교란 존의 20%까지 저하하고 이것에 의해 간극수의 배제가 매우 지연되게 될 수 있다. 현장지반에서 간극수의 배제가 PD재를 통하여 일어나는 경우 코어재의 통수능력 Q_w 에 영향을 미치는 여러 요인이 발생한다. 즉, PD재의 크리프 변형의 영향, PD재 속에 공기(기포)혼입, 필터의 구멍 막힘 및 세립토의 유입에 의한 영향 등이다. PD재가 원활히 배수성능을 유지하기 위해서는 Q_w 값이 요구통수능력 Q_{req} (지반 및 PD재의 타설 간격에 따라 요구되는 통수량) 보다 큰 값을 계속 유지하여야 한다. Q_{req} 에 관한 식은 Pradhan등(1991)이 식(9.19)과 같이 제안하고 있다.

$$Q_{req} = \epsilon_f \cdot U_h \cdot F_s \cdot L \cdot \pi \cdot C_h / (4 \cdot T_h \cdot 86,400) \quad (9.19)$$

여기서, ϵ_f : 토양중 간극수 배제에 기인된 흙의 압축량

$$(0.25(h + h'))$$

U_h : 간극수 배제도

F_s : 안전율 (=2)

L : PD재의 길이

C_h : 수평방향의 압밀계수 (cm^2/day)

이들의 결과에 의하면 점토지반에서는 $Q_w > Q_{req}$ 로 되어 문제가 없는 것으로 판단되나 실트이상 조립재로 형성된 저습담의 경우에는 $Q_w < Q_{req}$ 가 될 우려가 있다.

PD재의 유로의 통수능력 Q_w 가 유한한 경우 Hansbo(1979)는 물의 흐름에 Darcy의 법칙을 적용하여 웰 레지스턴스의 영향을 식(9.20)

과 같이 나타내었다.

$$F(r) = \pi Z(L-Z)(K_h/Q_w) \quad (9.20)$$

여기서, z : PD재의 배수거리

L : PD재의 전길이

K_h : 수평방향 투수계수

Q_w : PD재의 통수능력

한편, 吉岡(1979)는 Barron의 식을 근거로 하여 웰 레지스턴스를 고려한 간극수 배제도 의 근사해를 제안했다.

$$\mu_s = 1 - \exp\left(\frac{-8T_h}{F(n) + 0.8L_{cwr}}\right) \quad (9.21)$$

$$F(n) = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln n - \frac{3n^2}{4n^2} \quad (9.22)$$

여기서, K_w : PD재 유로의 투수계수

L_{cwr} : 웰 레지스턴스계수로서 식(9.21)과 같다.

$$L_{cwr} = \frac{32K_c}{\pi^2 K_w} \left(\frac{L}{d_w}\right)^2 \quad (9.23)$$

식(9.21)을 이용하여 표 9.2에 나타낸 조건으로 L_{cwr} 을 계산하면 통수능력이 가장 작은 PD재(TF)의 경우에도 길이 $L=20m$ 까지는 L_{cwr} 이 0.65정도로 작다. $L=50m$ 에 대하여도 PD재의 최대 L_{cwr} 을 이용하여

표 9.2 웰 레지스턴스 산정조건 및 산정 결과

PD의 길이 (m)	k_w (cm/sec)			k_c (cm/sec)	d_w (cm)	웰 레지턴스 계수, L_{cm}			주의
	Max.	Min.	TF			Min.	Max.	TF	
5	27.6	1.1	0.08	1×10^{-1}	5	0.0001	0.0030	0.0405	일본에서 PD재의 사용길이(L): 10~20m
10	27.6	1.1	0.08	1×10^{-1}	5	0.0005	0.0118	0.1621	
30	27.6	1.1	0.08	1×10^{-1}	5	0.0019	0.0471	0.6483	
30	27.6	1.1	0.08	1×10^{-1}	5	0.0042	0.1061	1.4592	
50	27.6	1.1	0.08	1×10^{-1}	5	0.0118	0.2948	4.0529	

식(9.23)로서 간극수 배제도를 계산하여도 PD재의 타설간격 $n=10 \sim 30$ 의 경우 $F(n)$ 의 계산치(Rixner 등, 1986)의 $1/6 \sim 1/9$ 정도이며 실용상 무시 가능하다. 이와 같이 PD재를 재래의 PVC 유공관 등의 배수암거대신에 사용하여도 배수성능에는 큰 문제가 없으리라 판단된다.

제4절 수평드레인에 대한 이론해석

전술한 바와 같이 연직배수에 대한 이론을 수평 드레인에 그대로 적용하기에는 무리가 있는 것은 사실이다. 그 이유로는 우리나라의 논의 토양 구조는 경운에 의한 투수성이 양호한 작토층과 경운되지 않은 치밀하면서도 굳은 심토층의 2층구조가 발달하여 저습담인 경우에 포장정비후 씨레질과 경운의 반복에 의하여 15-25cm 깊이 에 딱딱한 불투수층의 경반이 형성되고 그 경반이 담수를 유지하는 기능을 가지게 된다. 그리고 배수재 밑에 있는 수두가 낮은 간극수

가 수두가 높은 배수재를 향하여 이동할 수는 없을 것이다. 따라서 방사류의 흐름에 근거를 둔 연직배수에 대한 이론은 수평드레인인 경우에는 수정되어야 할 것이다.

본 연구에서는 PD를 세우고(연직타설) 눕히는(수평타설) 방향으로 타설할 경우에 있어서 테르자기(Terzaghi)의 2차원 압밀식을 토대로 현장조건을 충분히 반영하여 PD타설시 및 경운작업에 기인된 답지반의 교란영향을 고려하여 다음과 같이 이론식을 정립, 제안하기로 한다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_{vz} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + c_{vx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (9.24)$$

먼저, $\varepsilon(z, x, t) = \frac{\bar{\sigma}}{\sigma} = \frac{\sigma - u}{\sigma} = 1 - \frac{u}{\sigma}$ 로 두면,

$$u = \sigma - \sigma \cdot \varepsilon \quad (9.25)$$

$u=0$, $\varepsilon=0$ 이면 $U=0\%$ 이고, $u=\sigma$, $\varepsilon=100$ 이면 $U=100\%$ 이다.

식(9.24)의 우변의 첫째항에 식(9.25)을 대입하면,

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} &= \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right) \\ \frac{\partial u}{\partial z} &= \frac{\partial \sigma}{\partial z} - \left(\varepsilon \frac{\partial \sigma}{\partial z} + \sigma \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) \\ \frac{\partial u}{\partial z} &= -\sigma \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \end{aligned}$$

이며,

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(-\frac{\partial u}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial z} \left(-\sigma \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) = -\sigma \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial z^2} \quad (9.26)$$

이 된다. 식(9.24)의 우변의 둘째항과 좌변항도 마찬가지로 다음과 같이 정리된다.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(-\frac{\partial u}{\partial x} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(-\sigma \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right) = -\sigma \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial x^2} \quad (9.27)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\sigma \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} \quad (9.28)$$

식(9.26), (9.27), (9.28)을 식(9.24)에 대입하여 양변을 $-\sigma$ 로 나누면,

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = c_{vz} \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial z^2} + c_{vx} \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial x^2} \quad (9.30)$$

이 된다. 식(9.30)에 explicit Dufort-Frankel Finite Difference Method를 적용하면,

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = \frac{\varepsilon^{T+\Delta T}(x_i, z_j) - \varepsilon^{T-\Delta T}(x_i, z_j)}{2\Delta T}$$

$$\frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial z^2} = \frac{\varepsilon^T(x_i, z_j + \Delta z) - \{\varepsilon^{T+\Delta T}(x_i, z_j) + \varepsilon^{T-\Delta T}(x_i, z_j)\} + \varepsilon^T(x_i, z_j - \Delta z)}{(\Delta z)^2}$$

$$\frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial x^2} = \frac{\varepsilon^T(x_i + \Delta x, z_j) - \{\varepsilon^{T+\Delta T}(x_i, z_j) + \varepsilon^{T-\Delta T}(x_i, z_j)\} + \varepsilon^T(x_i - \Delta x, z_j)}{(\Delta x)^2}$$

(9.31)

식(9.31)을 식(9.30)에 대입하면,

$$\begin{aligned} \varepsilon^{T+\Delta T}(x_i, z_j) - \varepsilon^{T-\Delta T}(x_i, z_j) &= \frac{2(\Delta T)c_{vz}}{(\Delta z)^2} [\varepsilon^T(x_i, z_j + \Delta z) \\ &\quad - \varepsilon^{T+\Delta T}(x_i, z_j) - \varepsilon^{T-\Delta T}(x_i, z_j) + \varepsilon^T(x_i, z_j - \Delta z)] \\ &\quad + \frac{2(\Delta T)c_{ux}}{(\Delta x)^2} [\varepsilon^T(x_i + \Delta x, z_j) \\ &\quad - \varepsilon^{T+\Delta T}(x_i, z_j) - \varepsilon^{T-\Delta T}(x_i, z_j) + \varepsilon^T(x_i - \Delta x, z_j)] \end{aligned}$$

(9.32)

이 된다.

$$C1 = \frac{2(\Delta T)c_{vz}}{(\Delta z)^2}$$

$$C2 = \frac{2(\Delta T)c_{ux}}{(\Delta x)^2} \tag{9.33}$$

라고 하면, 식(26)에서 $\varepsilon^{T+\Delta T}$ 를 구하기 위해서는 ε^T 와 $\varepsilon^{T-\Delta T}$ 의 값이 필요하다.

즉, $T + \Delta T$ 는 미래이며 T 는 현재, $T - \Delta T$ 는 과거이다. 그러나, 초기 경계조건에서 T 가 초기 시간(initial time step)이면 $T - \Delta T$ 는 존재하지 않는 허구(거울면)이다. 따라서 본 수치해석에서는 초기 경계조건에서 T 와 $T - \Delta T$ 가 초기상태로서 같다고 가정한다. Program에서 $\varepsilon^{T+\Delta T} = E1$, $\varepsilon^T = E1$, 그리고 $\varepsilon^{T-\Delta T} = E2$ 배열이며 $x_i = I$, $z_i = J$ 이다.

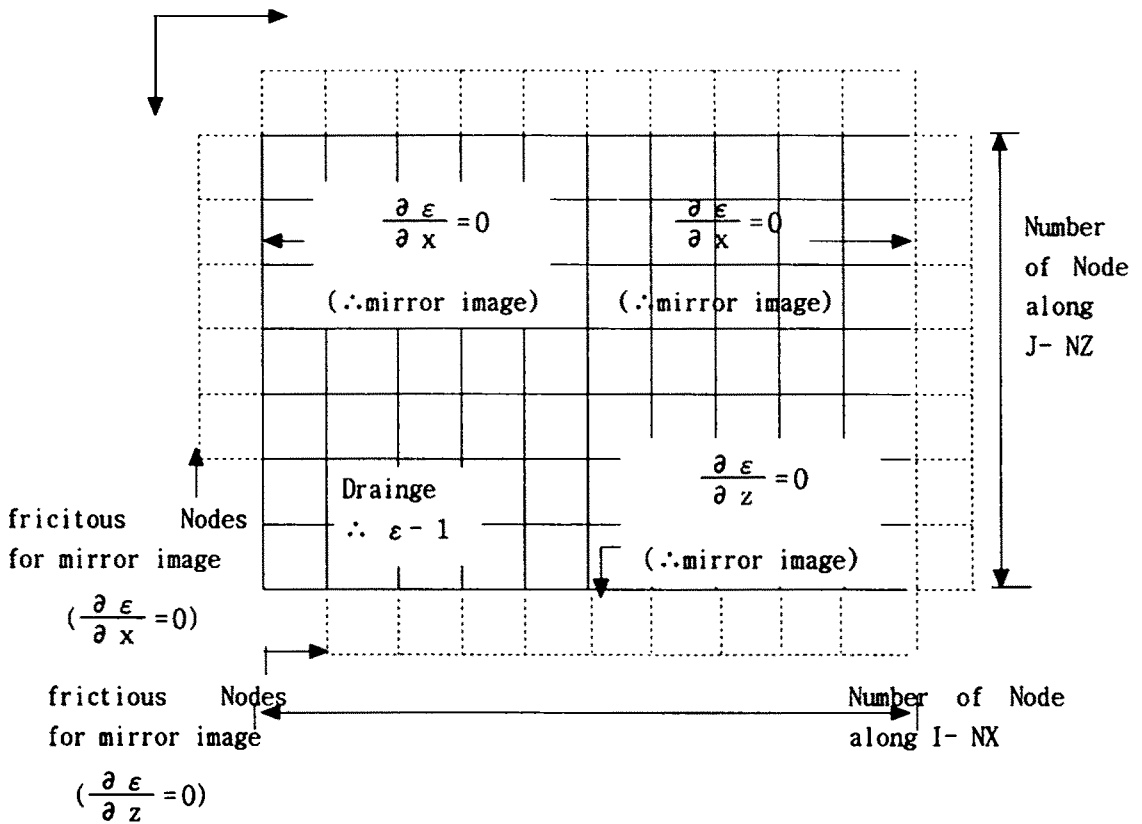


그림 9.5 수치해석을 위한 모델의 개념도

그림 9.5에는 본 연구의 수치해석에 유한 차분법을 적용하기 위한 모델의 개념도를 나타낸다.

경계조건인 $\frac{\partial \epsilon}{\partial z} = 0$, $\frac{\partial \epsilon}{\partial x} = 0$ 에 유한 차분법(F. D. M)을 적용하면,

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial z} = \frac{\epsilon^T(x_i, z_j + \Delta z) - \epsilon^T(x_i, z_j - \Delta z)}{2(\Delta z)} = 0$$

$$\epsilon^T(x_i, z_j + \Delta z) = \epsilon^T(x_i, z_j - \Delta z) \quad (9.35)$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial x} = \frac{\epsilon^T(x_i + \Delta x, z_j) - \epsilon^T(x_i - \Delta x, z_j)}{2(\Delta x)} = 0$$

$$\varepsilon^T(x_i + \Delta x, z_j) = \varepsilon^T(x_i - \Delta x, z_j) \quad (9.36)$$

가 된다.

그림 9.6의 모델도를 근거로 하여 PBD는 단면의 폭을 중심으로 연직(세움, ①)형과 수평(뒹뚱, ②)으로 설치하게 하였으며, 스미어 존은 PBD타설에 의해서는 연직형·수평형의 내부와 외부를 각각 7.5cm, 15cm로 하였다. 경운 작업에 기인된 스미어 존은 표층으로부터 두께 15cm를 완전교란 존, 그 하부 30cm를 불완전교란 존으로 하였다. 타설된 1차년도에는 타설과 경운작업의 양자에 의한 교란을 같이 고려하고 타설후 1년이 경과한 다음은 경운 작업에 의한 교란만 고려되게 하여 해석을 실시하였다. 표 9.3에는 각 해석조건을 나타낸다. 그림 9.6에서 9.10에는 각 타설조건에 따른 시간대 압밀도의 관계를 나타낸다. 그리고, 표 9.4에서 9.8에는 각각의 해석결과를 종합한 것이다.

표 9.3 각 해석조건

조건	범례명	C _{v1}	C _{v2}	C _{v3}	C _{vz1}	C _{vz2}	C _{vz3}	비고
수직	Vertical type case 1	1000	1000	1000	600	600	600	case 1, 3, 5, 7, 9 : 1차년도경우 case 2, 4, 6, 8, 10 : 타설 1년후경우
	Vertical type case 2	400	600	1000	400	500	600	
	Vertical type case 3	500	500	500	300	300	300	
	Vertical type case 4	"	"	"	"	"	"	
	Vertical type case 5	200	350	500	200	250	300	
	Vertical type case 6	"	"	"	"	"	"	
	Vertical type case 7	75	120	200	75	85	100	
	Vertical type case 8	"	"	"	"	"	"	
	Vertical type case 9	20	60	100	20	35	50	
	Vertical type case 10	"	"	"	"	"	"	
수평	Horizontal type cacs 1	1000	1000	1000	600	600	600	
	Horizontal type cacs 2	400	600	1000	400	500	600	
	Horizontal type cacs 3	500	500	500	300	300	300	
	Horizontal type cacs 4	"	"	"	"	"	"	
	Horizontal type cacs 5	200	350	500	200	250	300	
	Horizontal type cacs 6	"	"	"	"	"	"	
	Horizontal type cacs 7	75	120	200	75	85	100	
	Horizontal type cacs 8	"	"	"	"	"	"	
	Horizontal type cacs 9	20	60	100	20	35	50	
	Horizontal type cacs 10	"	"	"	"	"	"	

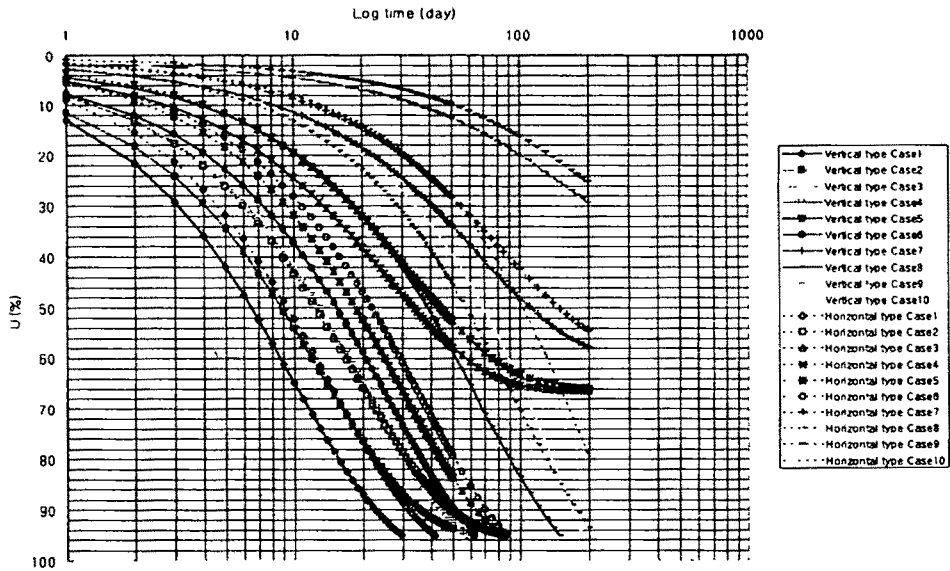


그림 9.6 타설간격 2m에 대한 해석결과

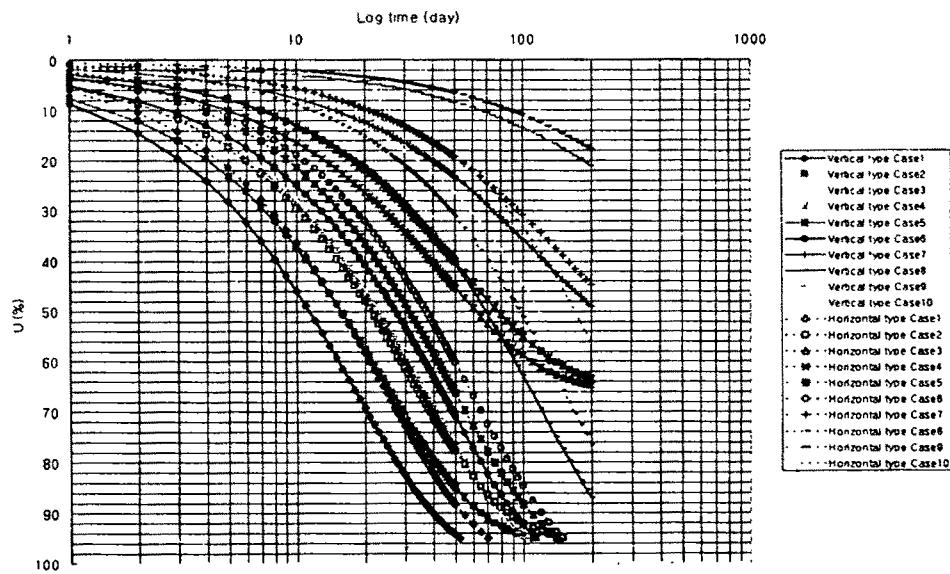


그림 9.7 타설간격 3m에 대한 해석결과

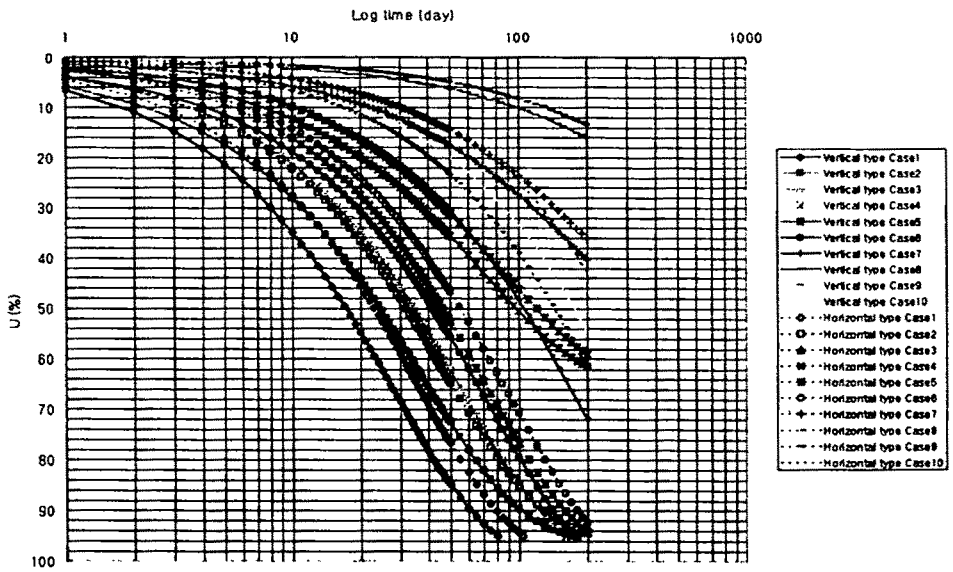


그림 9.8 타설간격 4m에 대한 해석결과

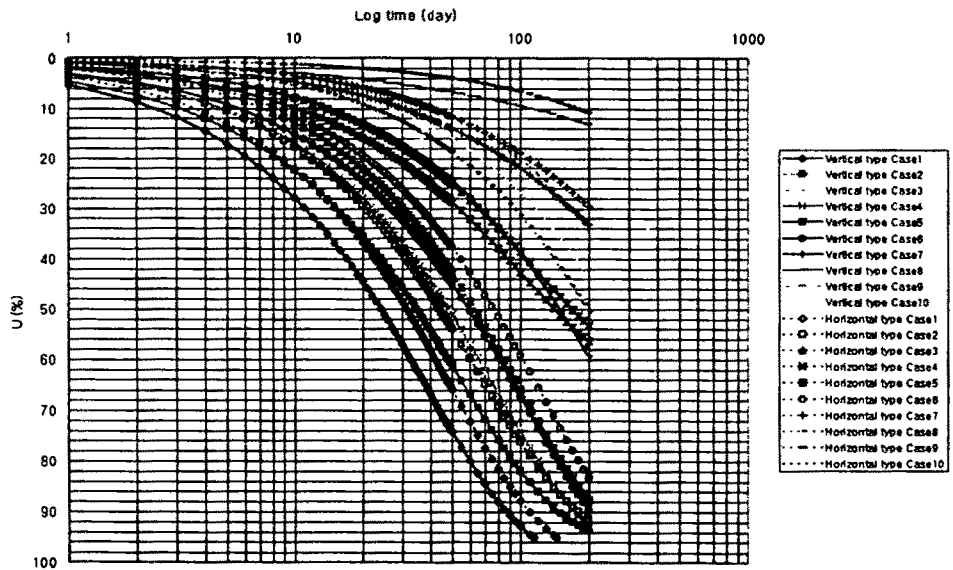


그림 9.9 타설간격 5m에 대한 해석결과

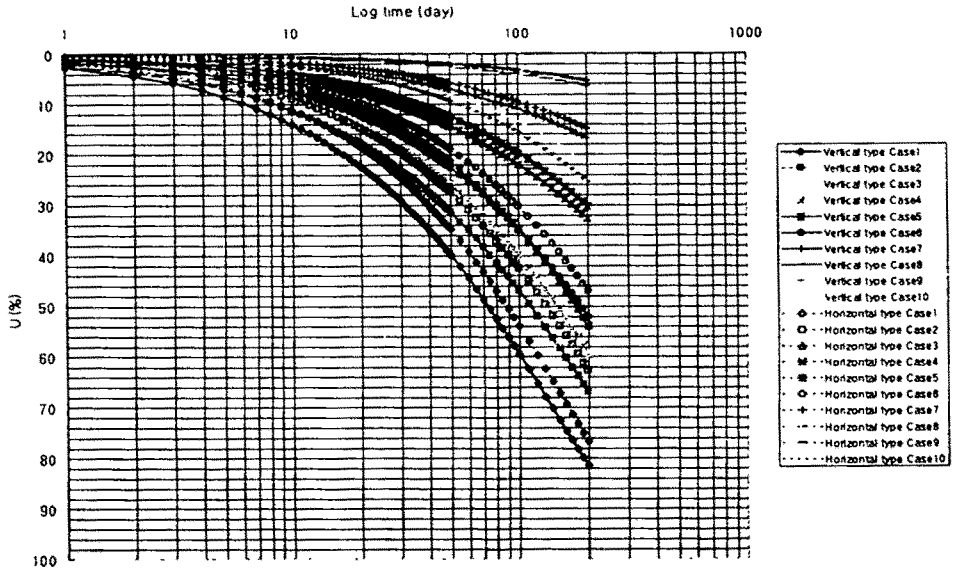


그림 9.10 타설간격 10m에 대한 해석결과

표 9.4 타설간격 2m에 대한 해석결과

조건	타설간격 (m)	범례명	압밀도 (%)			
			70	80	90	95
수직	2m	Vertical type case 1	11.62일	15.68일	22.62일	29.57일
		Vertical type case 2	16.51일	22.73일	35.91일	62.01일
		Vertical type case 3	23.24일	31.36일	45.26일	59.15일
		Vertical type case 4	"	"	"	"
		Vertical type case 5	200일 66.4%			
		Vertical type case 6	27.40일	36.47일	50.67일	62.55일
		Vertical type case 7	200일 57.73%			
		Vertical type case 8	68.24일	90.03일	122.83일	148.54일
		Vertical type case 9	200일 29.24%			
		Vertical type case 10	112.22일	138.43일	169.20일	186.80일
수평	2m	Horizontal type cacs 1	16.51일	22.18일	31.88일	41.59일
		Horizontal type cacs 2	22.53일	31.62일	49.22일	86.09일
		Horizontal type cacs 3	33.00일	44.36일	63.76일	83.16일
		Horizontal type cacs 4	"	"	"	"
		Horizontal type cacs 5	200일 65.87%			
		Horizontal type cacs 6	38.49일	50.97일	70.51일	86.86일
		Horizontal type cacs 7	200일 54.49%			
		Horizontal type cacs 8	98.83일	129.68일	176.19일	93.48일
		Horizontal type cacs 9	200일 25.15%			
		Horizontal type cacs 10	163.97일 70%		200일 79.97%	

표 9.5 타설간격 3m에 대한 해석결과

조건	타설간격 (m)	범례명	압밀도 (%)			
			70	80	90	95
수직	3m	Vertical type case 1	20.45일	27.66일	39.99일	52.35일
		Vertical type case 2	29.51일	41.08일	65.02일	114.00일
		Vertical type case 3	40.90일	55.33일	80.00일	104.63일
		Vertical type case 4	"	"	"	"
		Vertical type case 5	200일 64.78%			
		Vertical type case 6	49.88일	65.21일	90.78일	111.21일
		Vertical type case 7	200일 49.05%			
		Vertical type case 8	121.92일	161.43일	200일 87.03%	
		Vertical type case 9	200일 20.95%			
		Vertical type case 10	193.70일	200일 71.49%		
수평	3m	Horizontal type cacs 1	27.77일	37.37일	53.80일	70.25일
		Horizontal type cacs 2	39.00일	54.01일	85.00일	149.00일
		Horizontal type cacs 3	55.55일	74.74일	107.55일	140.40일
		Horizontal type cacs 4	"	"	"	"
		Horizontal type cacs 5	200일 63.45%			
		Horizontal type cacs 6	65.48일	86.82일	120.25일	148.29일
		Horizontal type cacs 7	200일 44.67%			
		Horizontal type cacs 8	167.79일	200일 76.48%		
		Horizontal type cacs 9	200일 17.74%			
		Horizontal type cacs 10	200일 56.48%			

표 9.6 타설간격 4m에 대한 해석결과

조건	타설간격 (m)	범례명	압밀도 (%)			
			70	80	90	95
수직	4m	Vertical type case 1	31.30일	42.47일	61.58일	80.72일
		Vertical type case 2	46.01일	65.70일	102.34일	181.03일
		Vertical type case 3	62.61일	84.92일	123.09일	161.33일
		Vertical type case 4	"	"	"	"
		Vertical type case 5	200일 61.45%			
		Vertical type case 6	75.81일	101.51일	141.81일	175.62일
		Vertical type case 7	200일 40.26%			
		Vertical type case 8	189.75일	200일 71.87		
		Vertical type case 9	200일 15.93%			
		Vertical type case 10	200일 54.47%			
수평	4m	Horizontal type cacs 1	41.07일	55.39일	79.88일	104.43일
		Horizontal type cacs 2	58.60일	81.82일	128.98일	200일 94.46%
		Horizontal type cacs 3	82.13일	110.73일	159.69	200일 94.34%
		Horizontal type cacs 4	"	"	"	"
		Horizontal type cacs 5	200일 59.02%			
		Horizontal type cacs 6	97.96일	130.22일	180.86일	200일 92.54
		Horizontal type cacs 7	200일 36.09%			
		Horizontal type cacs 8	200일 61.65%			
		Horizontal type cacs 9	200일 13.44%			
		Horizontal type cacs 10	200일 42.83%			

표 9.7 타설간격 5m에 대한 해석결과

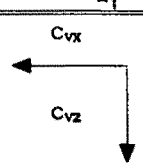
조건	타설간격 (m)	범례명	압밀도 (%)			
			70	80	90	95
수직	5m	Vertical type case 1	44.18일	60.12일	87.39일	114.74일
		Vertical type case 2	66.43일	93.12일	148.55일	200일 93.47%
		Vertical type case 3	88.33일	120.17일	174.71일	200일 92.74%
		Vertical type case 4	"	"	"	"
		Vertical type case 5	200일 56.36%			
		Vertical type case 6	108.22일	145.43일	200일	89.50%
		Vertical type case 7	200일 33.20%			
		Vertical type case 8	200일 59.40%			
		Vertical type case 9	200일 13.12%			
		Vertical type case 10	200일 43.70%			
수평	5m	Horizontal type cacs 1	56.40일	76.22일	110.15일	144.24일
		Horizontal type cacs 2	82.00일	114.52일	181.13일	200일 91.42%
		Horizontal type cacs 3	112.75일	152.39일	200일	87.70%
		Horizontal type cacs 4	"	"	"	"
		Horizontal type cacs 5	200일 53.29%			
		Horizontal type cacs 6	135.93일	181.27일	200일	83.19%
		Horizontal type cacs 7	200일 29.59%			
		Horizontal type cacs 8	200일 50.51%			
		Horizontal type cacs 9	200일 10.78%			
		Horizontal type cacs 10	200일 34.34%			

표 9.8 타설간격 10m에 대한 해석결과

조건	타설간격 (m)	범례명	압밀도 (%)			
			70	80	90	95
수직	10m	Vertical type case 1	138.86일	191.10일	200일 81.33%	
		Vertical type case 2	200일 67.22%			
		Vertical type case 3	200일 59.40%			
		Vertical type case 4	"			
		Vertical type case 5	200일 32.71%			
		Vertical type case 6	200일 52.04%			
		Vertical type case 7	200일 16.82%			
		Vertical type case 8	200일 30.12%			
		Vertical type case 9	200일 6.41%			
		Vertical type case 10	200일 21.93%			
수평	10m	Horizontal type cacs 1	163.42일	200일 76.59%		
		Horizontal type cacs 2	200일 62.82%			
		Horizontal type cacs 3	200일 53.79%			
		Horizontal type cacs 4	"			
		Horizontal type cacs 5	200일 30.29%			
		Horizontal type cacs 6	200일 47.01%			
		Horizontal type cacs 7	200일 14.95%			
		Horizontal type cacs 8	200일 25.52%			
		Horizontal type cacs 9	200일 5.41%			
		Horizontal type cacs 10	200일 17.23%			

그림 9.11과 9.12에는 표 9.9에서 주어진 조건으로 압밀정수를 설정하여 PBD에 대한 스미어 존의 영향, 타설간격의 영향 및 타설모양에 대한 영향을 각각 검토하였다.

표 9.9 적용 압밀계수 및 조건

조건		시간(day)	압밀도(U, %)	비 고
연직	2m no smear	23	90.37	 그림 9.11 및 12 압밀계수 : no smear(No smear zone) $C_{vx1}=C_{vx2}=C_{vx3}=1000\text{cm}^2/\text{d}$ $C_{vz1}=C_{vz2}=C_{vz3}=600\text{cm}^2/\text{d}$ smear(Smear zone) $400, 600, 1000\text{cm}^2/\text{d}$ $400, 500, 600\text{cm}^2/\text{d}$
	2m smear	36	90.10	
수평	2m no smear	32	90.09	
	2m smear	50	90.16	
연직	5m no smear	90	90.64	
	5m smear	150	90.16	
수평	5m no smear	110	89.97	
	5m smear	180	89.90	

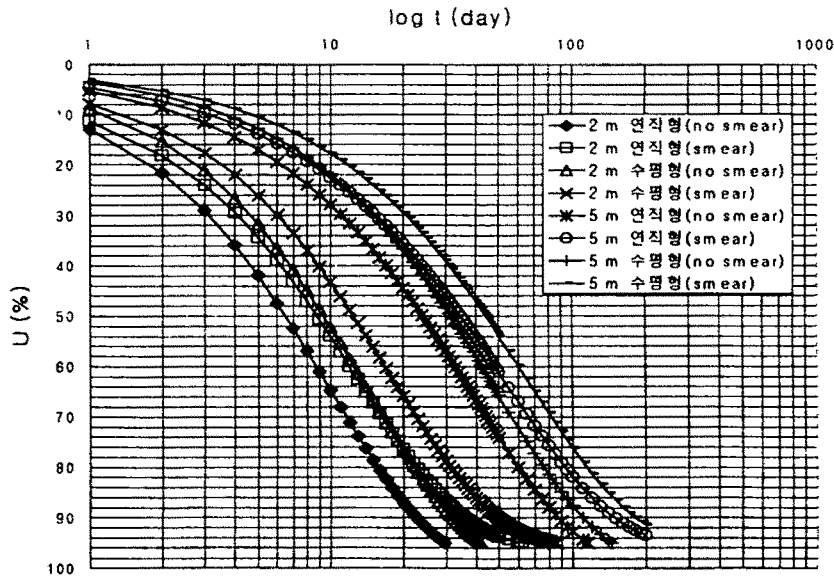


그림 9.11 스미어 존의 영향

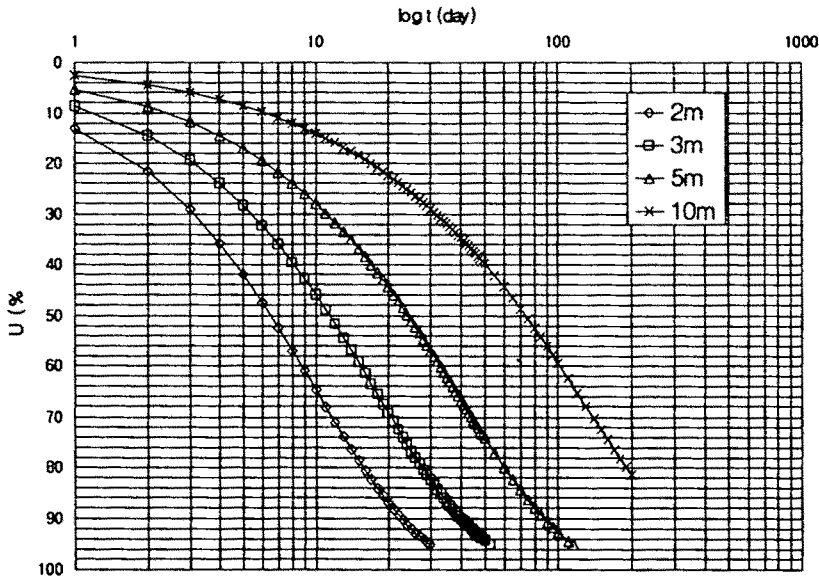


그림 9.12 타설간격의 영향

그림 9.11에는 타설간격 2m와 5m에 대하여 no smear zone의 경우는 수평방향 압밀계수 C_{vx} 를 모두 $1,000\text{cm}^2/\text{d}$, 연직방향은 $C_{vz} = 600\text{cm}^2/\text{d}$ 로 하고, 그 smear zone투수계수가 저하되게 한 상태이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 연직방향(세움)으로 PBD를 타설한 것이 수평방향(늪움)보다 배수속도가 빠르며, 타설간격 2m에 대한 값이 5m보다 빠른 배수특성을 나타낸다. 또한 2층의 smear zone이 발생할 경우 no smear에 대하여 압밀도 90%를 기준으로 비교한 결과 평균 40.25일로 62.2% 지연됨을 알 수 있다.

그림 9.12에는 No smear zone인 경우 압밀계수를 수평방향인 $C_{vx} = 1,000\text{cm}^2/\text{d}$, 연직방향 $C_{vz} = 600\text{cm}^2/\text{d}$ 로 가정하여 타설간격에 대한 영향을 고려하였다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 타설간격이 넓어질수록 배수일수가 증가하며 압밀도 80%에 대하여 타설간격 2m와 5m를 비교하면 각각 16일, 200일을 나타내어 매우 큰 차이를 나타낸

다. 이 결과는 현장시험 결과와 유사한 경향을 보이며 PBD의 적정 타설간격은 2m로 함이 합리적인 것을 나타낸다.

실제로 저습담에는 증발산량이 발생하고 벼의 뿌리와 지반사이의 틈이 존재하므로 배수속도는 이론적인 계산치 보다는 빨라질 가능성이 있으므로 이와 관련된 고찰은 향후 이들의 영향을 현장에서 직접 실측한 후 고려하여야 하는 추가연구과제이다.

제 10장 결론

농업여건의 악화에 적극대처하기 위한 일환으로 배수가 불량한 저습답(수령논 및 과습답)을 종래의 PVC 유공관의 대체재료로 플라스틱 드레인(Plastic drain, PD)재를 이용하여 개선하며, PD타설을 농민이 직접 저렴하고 간편하게 할 수 있게 함으로써 농지이용의 효율성 제고와 농민의 작업환경개선을 목적으로 3개년에 걸쳐 실내실험, 현장시험 및 해석을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 플라스틱 드레인재의 물리, 역학적 특성

1) 대표적인 8종(국내 6종, 국외 2종)의 PD재에 대하여 물리, 역학적 특성을 규명하였다. 그 중 인장강도특성에 대해 기술하면 국내생산 PD재의 경우 $36.2 \sim 101.5 \text{kgf/cm}^2$ 의 범위를 나타내며, 국외제품은 $130 \sim 200 \text{kgf/cm}^2$ 의 값을 나타냈다. 국내제품 중 4종류는 Kremer(1982)의 기준(0.5kN)에 약간 미달되는 특성을 나타내므로 제조기술의 개선이 요망된다. 반면에 신도는 국내, 국외제품이 각각 15.0~62.5%, 36.4~62.5%의 범위를 나타내어 비교적 큰 값을 나타냄을 알 수 있다.

2) PD재 타설시 트랙터의 견인력에 의해 초기의 PD에 선단에 걸리는 장력을 측정하여 1)의 결과와 비교한 결과, 주행속도가 빨라질수록 PD재 선단에 걸리는 장력이 증가하였고, 트랙터 1단의 최대주행속도인 6km/h로 주행할 경우 타설초기 1m지점까지 최대장력이 걸리는 것으로 나타났다. 그때의 장력이 40kgf/1분을 나타내어 국내제품 KL과 DH는 초기에 제품에 문제가 나타날 수

있음을 지적했다. 그 외 시험에 이용한 제품에는 전혀 문제가 없으며, 타설장이 1m이상이 되거나, 주행속도가 4km/h이하로 하면 타설시 PD재의 손상발생이 없을 것으로 나타났다.

2. 필터의 배수성능 및 구멍 막힘 특성

- 1) PD재 필터의 투수계수를 측정한 결과, 각 종의 중 최소 투수계수치가 $1.01 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$ 를 나타내어 대표적인 배수개선사업 시행지구 2개소의 저습답 토양의 투수계수인 $1.8 \sim 2.0 \sim 10^{-5} \text{cm/sec}$ 의 5,000배를 나타내어 저습답의 배수개선에 적용시 전혀 문제가 없음을 확인했다.
- 2) 현장에 PD타설시 건식과 습식에 대하여 유리한 조건규명을 위하여 양 조건에서 투수시험을 실시하여 습식조건이 건식에 비하여 초기에 유리한 투수계수를 나타냄을 알았다. 따라서 현장에서 PD재를 타설전에 고압수로 살수하여 포화시킨후 시공하는 것이 합리적이라는 점을 제안했다.
- 3) 대표적인 저습답 현장토를 대상으로 7개월간 걸친 PD의 장기간 구멍 막힘(Clogging) 시험을 실시한 결과, 동수구배율이 초기 1,000시간까지는 다소 불안정한 상태를 나타냈으나 그 이후에는 안정된 값을 유지하였으며, 측정 전과정에 걸쳐서 한계동수구배율인 3이하를 나타냈었고, 관련 연구자료 등을 종합할 때 구멍 막힘에 기인한 문제점은 없는 것을 알았다. 따라서, PD는 장기간에 걸쳐서 원활히 배수개선기능을 나타낼 것으로 추찰된다. 그러므로 진공펌프 또는 콤프레셔 등을 이용하여 PD재 기능회복을 위한 노력이 불필요할 것으로 사료된다.

3. 플라스틱 드레인의 통수능력

- 1) 특수, 고안 제작된 실물대형 PD의 통수능력시험장치를 이용하여 PD의 통수능력은 측압과 동수구배에 영향을 받는 것을 확인했다. 측압과 동수구배의 증가에 따라 통수능력은 직선적으로 저하하였다.
- 2) 1)의 시험장치에 의해 PD의 길이 50m까지의 실물을 대상으로 실험한 결과, 종래 길이 1m이하의 샘플을 이용하여 마찰손실수두가 길이에 대하여 1차원적으로 증가된다는 추측은 문제를 내포하고 있음을 알았다. 즉, 길이 2m인 PD재의 통수능력에 대하여, 길이 10m와 50m인 경우 통수능력의 저하가 각각 13%, 24%이므로 길이가 길어질 경우 일정한 통수능력의 저하가 발생하지 않음을 알 수 있다. 따라서 저습답에 길이 약 30~50m로 PD를 타설하여도 웰 레지턴스(Well resistance)에 의한 영향은 무시하여도 무방할 것으로 판단된다.
- 3) 저습답의 현장조건과 유사한 측압 및 동수구배에서 밴드형(판형)과 원형 PD재의 통수능력을 측정한 결과 밴드형(판형)과 원형 PD재가 각각 $Q_w=209\sim 346\text{cm}^3/\text{sec}$, $15,300\text{cm}^3/\text{sec}$ 를 나타내어 양자 모두 저습답의 배수개선에 적용할 경우 문제가 없음을 알았고, 원형의 경우 기존의 PVC 유공관과 유사한 통수능력을 나타내는 것을 확인했다.

4. PD재의 복합통수능력

- 1) 길이 5m, 폭 2m, 높이 1m의 대형 복합 통수능력시험장치를 이용하여 2종의 (실트질 모래(SM) 및 준설 점토(CH))의 시료를 대상으로 PD의 배수성능을 검토한 결과, PD의 타설간격은 2m이하

로 하는 것이 합리적인 것을 알았다.

- 2) 밴드형 PD(PBD)를 대상으로 설치형태에 따른 PD의 배수성능을 비교하여 면을 세워서(연직) 타설하는 경우가 뉘어서(수평) 타설하는 것보다 유리하다는 것을 알았다.

5. 현장시험결과

- 1) 군산시 나포면 주곡지구에서 기존의 PVC 유공관 배수재와 타설간격, PD종류, 설치형태 및 소수재 사용유무 등의 다양한 7조건에서의 배수재의 배수성능을 비교검토한 결과, 밴드형 PD재(PBD)의 타설간격은 2m가 적합한 점, PBD는 세워서(연직) 타설하는 것이 뉘어서 타설하는 것보다 유리하다는 점 및 PD주위에 소수재는 효과가 없다는 점 등을 알았다.
- 2) PD를 2m간격으로 타설하면 충분한 배수기능을 발휘할 수 있으므로 2m간격으로 PD를 타설한 경우와 종래의 PVC 유공관은 타설간격이 10m이므로 상호간의 경제성을 비교한 결과 PD타설의 경우 공사비가 PVC 유공관의 70%를 나타내므로 이를 우리나라 배수개선 대상농지 87,000ha에 대하여 산출하면 약 1천 1백억원의 공사비 절감효과를 나타낼 수 있다. 또한, PVC 유공관의 경우 설치장비(트랜처)의 대수가 2대로 한정되어 있고, PD설치장비는 저렴하게 다량공급이 가능하므로 타설속도의 차이에 따른 배수개선후 증가이익에도 PD가 유리하므로 저습답 배수개선재료 PD의 적용은 큰 경제효과를 거양할 수 있다.

6. 플라스틱 드레인 설치장비 고안, 제작

- 1) 농민이 직접 저렴하고 간편하게 PD를 저습답에 타설할 수 있도록

록 쟁기부, 드레인 타설유도판, 드레인 장착장치, 드레인 송출 장치 및 되메움판 등으로 구성된 PD설치장비를 고안, 제작하였다.

2) PD설치장비는 운반 및 취급을 용이하게 하기 위하여 5개 부분으로 분리되게 하였으며, 각 중량은 10~120kg이다.

3) PD타설시 간척매립지 등에 조성된 저습담은 표층이 연약하여 견인장치인 트랙터의 바퀴가 빠져 작업에 지장을 초래하거나, PD에 요철 등이 발생하게 되므로 물논바퀴를 부착하여 바퀴의 빠짐현상을 저감시키도록 하였다. 이때 저감효과는 현장에서 직접 측정된 결과 미부착시 평균 24cm의 빠짐깊이가 물논바퀴 부착시 평균 11.3cm를 나타내어 약 47%로 충분한 효과를 나타냈다.

4) PD타설시 트랙터 운전자의 개인특성, 저습담 표면의 불균일 등에 기인하여 PD의 상, 하 및 좌, 우방향 요철을 저감하기 위하여 트랜스용 지지대와 레이저 지시봉으로 구성된 주행방향 및 고저지시대와 트랙터에 부착하여 운전자가 방향성 및 고저를 판단할 수 있는 반사판을 1식으로 하는 부대장치를 고안, 제작하여 PD타설을 더욱 손쉽고 정확하게 하도록 하였다.

7. 환경친화적인 PD재

1) 저습담의 대표적인 pH농도와 수종의 pH농도로 조성된 2종의 저습담토중에 5종의 PD재를 6개월간 묻어 방치한 후 열화특성을 조사한 결과 각 제품모두 pH농도에 따른 열화특성이 거의 나타나지 않았다. 이는 장기간 PD재를 저습담에 배수재로 이용할 경우 문제가 없다는 장점과 상당시간 경과후 지목변경으로 저습지

에 굴착을 동반한 공사를 수행할 경우 폐기물(PD재)처리에 문제가 있는 단점을 내포하고 있다.

- 2) 1)항의 석유화학제품인 PD재의 단점(영구히 부식없음)을 보완하기 위하여 야자껍질로 된 심체와 삼베(황마)로 된 필터로 구성된 환경친화적인 Fiber drain재를 대체로 이용할 수 있으나 이는 배수개선기간을 줄이는 특성이 발생할 가능성을 내포하고 있으므로 향후 추가적인 연구를 실시하여 배수기능의 적정유지를 위한 노력을 하면 충분히 적용가능성이 높은 재료로 될 것으로 판단된다.
- 3) 1)항의 단점보완차원에서 부피가 작은 필터는 부식성이 없는 석유화학제품으로 하고 코어재로 유연탄 연소재(Bottom ash)를 이용할 경우 통수능력 $Q_w=41 \sim 54 \text{cm}^3/\text{sec}$ 로 다소 떨어지나 투수계수가 매우 낮은 CH, CL 등의 저습담에는 환경친화적인 재료로 충분히 가능할 것으로 판단된다.
- 4) PD재로 저습담의 배수개선을 실시할 경우 담면의 관개수중에 함유된 각종 화학성분이 PD재 통과후에 크게 감소하여 환경정책 기본법 농업용수기준을 충분히 만족시키는 값으로 나타내어 PD재를 이용하여 저습담을 개선할 경우 수질의 개선이라는 부수적인 목적을 달성할 수 있다고 사료된다.

8. PD재의 배수 메커니즘 규명 및 최적 타설간격 결정

- 1) 저습담에서 밴드형 PD재를 이용하여 배수개선을 실시할 경우 PD재 타설 및 경운작업에 기인하는 토양교란영향과 PD재 설치형태에 의한 영향을 충분히 고려하여 현장토질조건 및 배수개선기간에 적합한 타설간격결정식을 테르자기의 2차원 압밀식을 근거

로 제안하였다.

- 2) 해석을 수행한 결과 밴드형 PD재는 누워서 설치하는 것보다 세워서(연직) 타설하는 것이 효과가 뛰어났으며, 일반적인 저습답에서는 타설간격을 2m로 하는 것이 효과적인 것을 알았다. 그러나, 실제 답표면에는 증발산량이 발생하며, 벼재배에 따른 뿌리와 흙사이의 공극을 통한 배수증가효과에 대해서는 향후 추가적인 연구가 요망되며 이들의 영향을 종합적으로 고려한 적정 배수기간 및 타설간격 결정식이 제안되는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

상기에 언급된 바와 같이 1995년~1997년(3개년)에 걸쳐 저습답 배수개선을 위한 플라스틱 드레인재의 적용에 관한 연구를 수행한 결과 PD재는 시공성 및 경제성 측면에서 종래의 PVC 유공관에 비하여 훨씬 유리한 재료임을 알 수 있다. 따라서, 본 연구의 부록에 제시된 설계 및 시공 매뉴얼을 참고로 하여 조속한 기간내에 실용화 연구가 대표적인 저습답에 대하여 수행되어 농민의 작업환경개선, 농업소득증대의 효과가 조속히 이루어질 수 있도록 노력이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 김 상규(1995) : “밴드 드레인의 품질과 연약지반개량효과와의 관련”, '95 가을학술발표회 논문집, 한국지반공학회, pp. 1~20.
2. 농림수산부(1995) : 플라스틱 드레인(PD)재를 이용한 저습답의 배수개선에 관한 기술 개발 연구, 제1차년도 중간보고서, pp. 1~53.
3. 農水産部, 國際聯合韓國排水改善事業機構(1981) : UNDP韓國排水改善事業地下排水計劃設計基準(案), pp. 1~166.
4. 농어촌 진흥공사 : 토질조사 시험법과 응용, p. 529, 1992.
5. 농어촌진흥공사 (1994): “연약점토지반의 표층처리 및 보강공법 실용화 연구(Ⅱ)”
6. 농어촌진흥공사(1993) : 농경지 이용을 제고를 위한 최적설계 기법 연구, pp. 1~242.
7. 대구광역시 보건환경연구원 : 유연탄 연소재의 중금속 함유량 시험결과, 1995.
8. 박 영목(1995) : “플라스틱 드레인재의 배수성능에 관한 연구”, '95 토목섬유 학술발표회, 서울.
9. 송동철 외 23인 : 성토재로서의 석탄회 이용방안 연구, 한국전력공사 기술연구원, pp. 1~77, 1992. 6.
10. 여 운식(1995): “경지 범용화를 위한 암거배수조직 연구”, 건국대학교 박사학위논문.
11. 이서구, 정후열, 박철용 : 열병합 발전소 부산물(Bottom Ash)의 재활용에 관한 연구, 경북지방 공업기술원, pp. 1~16.

1995. 12.
12. 일진사 : 수질·환경관계 법규 : 오염물질의 배출허용기준(제8조 관련), p. 145, 1992. 8.
 13. 한국 화학 시험 검사소 : 의뢰시험 성적서, 1992. 12.
 14. ASTM, "Standard test Method for Determining Apparent Opening Size of a Geotextile", Annual Book of ASTM Standard, Vol 04.08., Designation: D4751-87, 1987
 15. ASTM, "Standard test Method for Measuring the Soil-Geotextile System Clogging Potential by the Gradient Ratio", D5101-90, pp.1190-1196.
 16. Aboshi, H., and Inoue, T.(1960) : "Prediction of consolidation settlement of clay layer", especially in the case of soil stabilization by vertical drains, Proc. IEMJSSMFE joint symposium, on geotechnical problems, pp. 31~40.
 17. Akagi, T.(1977) : "Effect of Displacement Type Sand Drains on Strength and Compressibility of Soft Clay", Dr. Engrg. Thesis, Univ. of Tokyo.
 18. Barron, R. A.(1948) : "Consolidation of Fine-Grained Soils by Drain Wells", Trans. ASCE, Vol. 113, No. 2346, pp. 718~742.
 19. Bergado, D. T., Asakami, H., Alafaro, M. C., and Balasubramaniam, A. S. (1991) : "Smear effect of vertical drains on soft Bangkok clay", J. Soil Mech. Found. Engrg., ASCE, Vol. 117, NO. 10, pp. 1509~1529.

20. Calhoun. C. C. "Development of Design Criteria and acceptance specifications for plastic filter cloths", Technical Report NO. S-72-7, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss. 1972.
21. Casagrande, L. and Poulos, S.(1969) : "On the effectiveness of sand drains", Can. Geotech. Jour. Vol. 6, pp. 287 ~ 326.
22. Chang Dave Ta Teh, Zhuang Fu Sheng, "Clogging Study of Geotextile with Weathered Mudstone", pp.40-50
23. Das, B. M.(1983) : " Advanced Soil Mechanics", Hemisphere Publishing Corporation.
24. Faure. Y. et al." Theoretical and Experimental Determination of Filtration Characteristics of Geotextiles", Proc. Third Int. Conf. on Geotextiles, Vienna. vol. 4, pp.1275-1280, 1986
25. Hansbo, S.(1960) : "Consolidation of clay, with special reference to influence of vertical sand drains", Proc. Swedish Geotech. Institute, No 18.
26. Hansbo, S.(1979) : "Consolidation of clay by band-shaped prefabricated
27. Hansbo, S.(1981) : "Consolidation of fine grained soils by prefabricated drains", Proc. 10th ICSMFE, pp. 677 ~ 682.
28. Hoffman, J.D. (1993) : "Numerical Methods for Engineerings and Scientistcs", McGraw-Hill, Inc. pp. 683 ~ 686.

29. Holtz, R., and Holm, G.(1973) : "Excavation and sampling around some drains at Ska-Edeby", Sweden, Proc. Nordic. Geot. Meeting, Trondheim, Norw, Geot. Inst., Oslo.
30. Ingold, T. S.(1994) : Geotextile and geomembranes manual, Elsevier Science Pub., pp. 1~610.
31. John. N. W. M, "Geotextiles", Blackie Publ. Glasgow and London, 1987.
32. Johnson, S.T.(1970) : "Foundation precompression with vertical sand drains" , Proc. ASCE, Vol. 96, No. SM1, pp. 145~175.
33. Koda, E. Szymanski, A. and Wolski, W(1986) : "Laboratory Test on Geodrains" -Durability in Organic Soils-, Proc. Seminar Labotary Testing of Prefabricated Band Shaped Drains, Milan.
34. Koerner, R. M.(1994) : Designing with geosynthetics, Third Edition, Prentice-Hall Inc., pp. 1~783.
35. Madhav, R. M., Park, Y. M., and Miura ,N.(1993) : "Modelling and study of smear zones around band shaped drains, Soils and Foundation", Vol. 33, No. 4, pp. 135~147.
36. McDonald, P.(1985) : "Settlement of fills on soft clay with vertical drains", Proc. 11th ICSMFE, 8/c/15, pp. 2213~2216.
37. Okumra, T.(1974) : "Stidies on the disturbance of clay soils and improvement of their sampling techniques",

Technical Note of The Port and Harbour Research Institute,
Ministry of Transport, No. 193.

38. Onoue, A.(1988(a)) : "Consolidation of multilayered anisotropic soils by vertical drains with well resistance", Soils and Foundations, Vol. 28, No. 3, pp. 75~90.
39. Onoue, A.(1988(b)) : "Consolidation by vertical drains taking well resistance and smear into consideration", Soils and Foundations, Vol. 28, No. 4, pp. 165~174.
40. Rao et al.: "Long-Term Filtration Behavior of Soil-Geotextile System", Geotechnical Testing Journal, pp.238~247, 1992.
41. Richart, F.E.(1957) : "A review of the theories for sand drains", Proc. ASCE, Vol.83, No. SM3-1302.
42. Rixner, J.J., Kraemer, S.R., and Smith, A.D.(1986) : "Prefabricated
43. Robert. N. Koerner, "Designing with Geosynthetics", Prentice Hall Publ. Englewood Cliffs, 1990.
44. de Mello, V.F.B.(1969) : "Foundations of buildings on clay", A state of the Art Report, Proc. of 7th ICSMFE, Mecico City, pp. 49~136.
drains", Ground Engineerig, Vol. 12, No. 5, pp. 21~25.
vertical drains", FWHA/RD-86/168, Federal Highway Administration, Washington, D.C., Vol.. 1.
45. 嘉門雅史(1985) : "プラスチックボードドレ-ン材料の性質とその

- 特性”, 基礎工, Vol. 13, No. 8, pp. 11~17.
46. 綱子壽夫(1985): “設計, 施工上の留意点をさぐる”, 5. 土の壓縮と壓密, 土と基礎, 3月号, pp. 59~67.
47. 兼子健勇・豊田 勇・犬童 止・竹本眞悟(1995): “動力噴霧機を利用した 暗渠目詰まり除去技術”.
48. 吉國 洋 等(1994): ホリゾンタルドレーン工法の有効性に関する研究, 日本土木學會論文集, No. 499, III-28, pp. 87~96.
49. 唐 民, 三浦哲彦, 房野幹夫 室田博文(1995): “ファイバードレーソの 排水特性に関する基礎實驗”, 土木學會西部支部研究發表會, pp. 430~431.
50. 尾上篤生(1991(a)): “トレーンのウェル・レツスタンスに関する基礎的研究”, 清水建設研究報告別冊, 第 32号.
51. 尾上篤生(1991(b)): “ハーチカルトレーン周攪亂透水係數に関するついで, 第 26回土質工學研究發表會ね pp. 2015~2018.
52. 朴 永穆・三浦哲彦(1993): “現場條件を考慮したフラヌチックホートトレーン性能評賈, 土質學會論文集, (投稿中).
53. 朴 永穆・三浦哲彦(1994): “現場條件を考慮したプラスチックボ-ドドレーンの性能評價”, 日本土木學會論文集, No. 499, III-28, pp. 51~58.
54. 朴永穆(1994): “低平地に堆積する海成粘土の土質特性と鉛直排水工法による地盤改良に関する研究”, 日本佐賀大學 博士學位論文, pp.1~235.
55. 三浦哲彦・Bergado, D.T., ・法貴貫志郎・松長作馬(1989): “フラヌチックトレーンの排水性能に関する實驗的研究”, 佐賀大學理工學部集報, 第18卷1号, PP. 81~88.

56. 三浦哲彦・朴 永穆・Madhav, M.R.(1903) : “プラスチックホートレーンの排水性能に関する基礎的研究”, 土木工學論文集, No. 485, III-25, pp. 31~40.
57. 三浦哲彦・朴 永穆・福原 茂(1991) : “プラスチックトレーン材の排水特性能に関する実験”, 第 26回土質工學研究發表會, PP. 2009~2010.
58. 扇谷元喜, 唐 民, 三浦哲彦, 房野幹夫(1996) : “現場での使用条件を考慮したファイバードレーソの通水試験”, 土木學會西部支部研究發表會, pp. 630~631.
59. 小林正樹(1990) : “地盤の安定・沈下解析における有限要素法の適用に関する研究”, 運輸省港灣技術研究所, 土成研究室資料第1号.
60. 赤井智幸(1993) : “パイル構造體のジオテキスタイルとしての用途展開”, 平成5年度 大阪府立産業技術総合研究所研究報告會要旨集, pp. 9-1~9-4.
61. 赤井浩一・關野降夫・黄農益(1981) : “サントレーン打設による壓密効果關に室内実験”, 第 16回土質工學研究發表會講演集, pp. 233~236.

여 백

부 록

1. 설계 및 시공 메뉴얼

제 1 절 목적

암거배수 목적은 강우, 용수로 또는 지대에서 의 침투수에 의한 지하수위를 적절하게 조절하여 농경지의 과습을 방지하고, 토성을 개량하여 농작물에 최적의 생육 환경을 조성하여 줌으로써 농작물의 안정다수확을 가져올 수 있으며, 답의 조기 건조는 답리작을 조기에 시행할 뿐만 아니라 답리작 면적확대로 농산물의 증산을 가져올 수 있으며, 또한 지내력 증진으로 영농기계화 기반구축과 효율 제고로 노동력 절감효과를 기대할 수 있다.

우리 나라와 같이 제한된 농경지 면적을 최대한 활용하고, 또한 국민소득 향상에서 오는 식생활 개선으로 인하여 미곡위주에서 광범한 농산물에 의한 식생활 구조 변경으로 답작위주의 영농에서 전, 답작을 적절하게 조절할 수 있는 생산체계가 필요하게 되므로, 이는 지하배수에 의한 농경지의 범용화로 농작물의 선택적 생산을 기할 수 있다.

그러나 기존의 암거배수 시공은 장비가 고가일 뿐만 아니라 현재 2대뿐이어서 시공속도가 느리고 복잡하며, ha당 사업비도 약1,000만원으로 비용면에서도 비싸다고 하겠다.

따라서 배수효과도 우수하고 배수재 타설을 트랙터로 이용하여 시공함으로써 시공이 간편하며, 기존 암거배수보다 경제적인 PD재 이

용이 바람직하다 하겠다.

본 매뉴얼은 저습답에서 PD재를 이용하여 배수개선을 실시할 경우 설계자로 하여금 설계를 용이하게 하고 농민이 직접 PD재를 타설할 수 있도록 하기 위한 지침서로 제공하기 위함이다.

제 2절 범위

본 매뉴얼은 농지개량사업중에서 시행되는 지하배수에 관한 설계 및 시공에 관해서 필요한 표준적 사항에 대하여 정해 놓은 것이다.

제 3절 PD재 선정기준

1. Filter의 인열강도

지반중에 설치된 PD재는 트랙터 등 큰 압력이 가해져서 Filter가 core의 배수구로 눌러 들어가서 배수에 지장을 초래한다. 또 설치된 PD재는 농기계로 인하여 꺾어지게 되거나 Filter가 파손될 우려가 있다.

위와 같은 요인에 PD재의 Filter가 손상되는 것을 방지하기 위해서는 다음의 요구사항이 제안된다.

$$\text{Filter의 인열강도} \quad T_f > 150 \text{ N (15.3kg)}$$

2. Filter의 인장강도

PD재는 설치시에 여러 가지 큰 힘이 가해진다.

이때에 힘이 PD재에 큰 충격이 작용하여 Filter가 찢어지는 경우가 있다.

$$\text{Filter의 Grab 인장강도} \quad F_f \geq 0.5 \text{ KN (51 kg)}$$

3. Filter의 투수성

지반내에 발생하는 간극수는 가까운 PD재 내로 흘러 들어간다. PD내부 Core를 감싸고 있는 Filter는 간극수가 Core의 배수구로 들어갈 때에 흙의 미립자 이동을 막는 기능을 갖고 있다. 즉 P.B.D의 Filter는 간극수가 원활히 통과하면서 미립자를 걸러주는 여과기능이 장기간 유지되어야 한다. 그래서 PD재용 Filter에 요구하는 투수계수는 PD재가 설치된 흙의 투수계수보다 약 1,000배 이상을 요구하고 있으므로 Filter의 투수계수는 다음 기준을 충족하여야 한다.

$$\text{Filter의 투수계수} \quad K > 1 \times 10^{-3} \text{ Cm/sec}$$

4. PD재의 배수 용량

수평 배수재의 배수용량은 배수재의 배수구 공간크기로 결정된다. 비어있는 배수재의 부피는 토압에 의한 Core의 압축과 Filter재의 변형 등에 영향을 받는다.

배수재의 길이, 성토속도, 압축 그리고 극한강도에 따라서 배수재의 배수용량(q_v)은 일반적으로 다음의 요구사항을 만족시켜야 한다.

배수길이 < 10m이고 안정문제가 없을 때

$$\text{직선관로} \quad q_v > 10 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec} = 315 \text{ m}^3/\text{year}$$

$$\text{원 관로} \quad q_v > 7.5 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec} = 236 \text{ m}^3/\text{year}$$

배수깊이 > 10m이고 또는 안정문제가 있을 때

직선관로 $q_w > 50 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{sec} = 1.575 \text{ m}^3 / \text{year}$

원 관로 $q_w > 32.5 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{sec} = 1.183 \text{ m}^3 / \text{year}$

5. Filter의 간극크기(AOS)와 흙의 상태

흙 입자는 Filter 간극사이에 끼이거나 배수로에 쌓이면 안 된다. 연구 및 실험 결과에 기준하여 다음의 관계가 제안되고 있다.

$$O_{90} < 2 \times D_{90}$$

여기서 O_{90} 은 입자의 90%가 걸리는 입경을 표시하며, D_{90} 은 90%의 입자가 통과하는 입경을 가리킨다.

대부분의 흙에 대한 Filter의 간극크기 기준

$$O_{90} < 160 \mu\text{m}.$$

해성 점성토(실트 및 점토)는 조밀한 Filter가 요구된다.

이 경우의 간극크기 기준

$$O_{90} < 80 \mu\text{m}.$$

6. 배수 깊이와 PD재의 Core 형상

PD재 Core의 배수구 모양은 배수용량과 등가직경 적용에 매우 중요한 인자이다. 배수깊이와 경제성은 감안하여 아래 규준에 맞는 제품을 선택한다.

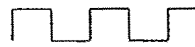
배수 깊이

Core형상

0 ~ 50m 까지



20m 이하



7. PD재의 여과면적

같은 표면적에서의 PD의 배수기능은 여과 면적이 큰 것이 유리하다. PD의 여과 면적은 Core의 배수구 폭과 개수에 따라서 종류별로 2배 이상이 차이가 생긴다. 정확한 등가직경의 적용과 효과적인 배수를 위한 PD의 여과 면적은 아래의 조건이 요구된다.

여과 면적 $A > 0.15\text{m}^2/\text{m}$

제 4 절 PD재 시방서

1. 드레인 보드의 선정기준

가. 외관 및 일반사항

1). 드레인 보드는 여과 접촉 면적이 커서 배수성이 탁월해야 하므로 Core와 Filter가 분리된 Pocket Type이 유리한다.

2). 드레인재는 토압에 대한 Plastic Core의 손상이 없고, 압밀 침하에 대한 순응성이 양호하여 절곡시 배수로의 절단 및 막힘이 없어야 한다.

3). Filter재는 압밀간극수의 배수에 충분한 투수계수를 갖으며 드레인재 내부로 미세 토립자의 혼입(clogging)을 방지하며 산, 알카리, 박테리아에 대한 저항성이 커야 한다.

나. 품질 표시 제품

정부의 공산품 품질검사 면제 대상 등에 관한 규정 제2조의

규정에 의한 품질검사기관의 품질검인 표시가 있는 제품이어야 한다. (KS 마크 또는 품 마크 또는 Q 마크 제품)

다. 규격 및 품질기준

1). 드레인 보드 규격

항 목	단 위	규 격
중 량	g/㎡	70이상
폭 × 두께	㎜	(100±5.0) × (4±0.5)
골단면표준	㎜	폭: (3.0±0.5) × 깊이: (1.5±0.2) × 공수: (56±3)
1M당 여과면적	㎡	0.15 이상

2). 품질기준

(물리적 기준)

구 분	항 목	단 위	기준사항	시험방법
드레인재 (Core+ Filter)	재 질	--	polypropylene	KS K 0210
	인장강도(건조)	kg/폭	350 이상	KS K 0520
	인장강도(습윤)	kg/폭	350 이상	KS K 0520
	내수성	--	변화없음	일반시험법
	투수계수	cm/sec	$\alpha \times 10^{-3}$ ($\alpha : 1-9$) 이상	KS F 2322
	배수성능	㎝ ³ /sec @ 10KPa ㎝ ³ /sec @ 300KPa	180 이상	ASTM D 4716
140 이상				

Filter재 (부직포)	재 질	--	polypropylene	KS K 0210
	투수계수	cm/sec	$\alpha \times 10^{-3}$ ($\alpha : 1-9$) 이상	KS F 2322
	인장강도	kg	70 이상	KS K 0520 (GRAB법)
	인장신도	%	20 - 80	
	인열강도	kg	15 이상	KS K 0537
	파열강도	kg/㎝ ²	10 이상	KS K 0351
	유효구멍크기 (AOS) O ₉₀	μm	≤ 80	BS 6906

(화학적 기준)

구분	항목	단위	기준	시험방법
드레인재 및 Filter재	황산:30%수용액	%	3 이하	일반시험법 상온에서 5시간 침지 후 중량 감소율
	염산:20%수용액	%	3 이하	
	NaOH:40%수용액	%	3 이하	
	NaCL:10%수용액	%	3 이하	
	증류수	%	3 이하	

라. 시험 및 검사

1). 본 자재의 시방서에 따른 품질보증 및 시공관리를 위하여 납품한 물품중 검수관 입회하에 임의의 부분에서 시료채취하여 국가 공인 시험소에 의뢰하여 합격여부를 판정하며, 시험 빈도는 100,000㎡당 1회씩 실시한다.

가). 국립공업기술원

나). 한국원사직물시험검사소

다). 기타 신뢰성이 인정되는 대학 및 기업체 연구소

2). 국내시험 검사가 불가능한 시험항목은 원자재 제작자의 시험성적서와 기타 성능을 증빙하는 자료로 제출한다.

2. 제작 및 보관

가. PD재 1롤의 길이는 200m이상으로 한다.

나. 상, 하차시 및 소운반시 손상되지 않고 비에 젖지 않도록 안전하게 납품하여야 한다.

다. 기타 감독관이 필요하다고 인정되는 조치에 대하여 도급자는 응해야 한다.

제 5절 설계지침

1. 개요

PD재 설계의 주요항목으로는 대상지반에 따른 PD재의 타설간격, 타설심도 등을 들 수 있다.

PD재의 설계순서 및 파악항목은 통상 다음과 같다.

가. 지반개량 목적 파악과 설계순서 설정

- 1). 개량 목적
- 2). 설계 순서

나. 설계 조건

- 1). 토질 조건
- 2). 시공 여건

다) 설계 계산

- 1). PD재의 선정
- 2). PD재의 환산 직경
- 3). 타설 간격
- 4). 타설 심도

2. 설계조건

PD의 설계조건으로서 대상 지반의 토질에 관한 사항, 시공여건에 관한 사항, 공비에 관한 사항 및 효율성에 관한 사항 등이 있다.

가. 토질 조건

설계를 수행하기 전에 토질조사 및 시험을 통하여 설계 계산에 필요한 다음과 같은 자료를 준비하여야 한다.

- 1) 기본적 토질 특성
- 2) 압밀시험에 의한 수평·연직압밀계수 측정
- 3) 타설 및 경작작업에 의한 스미어 존 범위 측정

나. PD 선정조건

PD재는 저습답속에서 토압과 상재경운압력에 대해서 유로를 형성하고 배수성능을 충분히 가져야만 한다. 또한 굴곡 등의 변형조건에 대해서도 충분한 통수 능력을 유지하는 재료를 선정하여야 한다. 따라서 조건이 허락하는 한 PD 타설 심도에서 최대로 받는 토압의 2배에 해당하는 압력, 즉 안전율 $F_s = 2$ 로 통수능력 시험을 직접 조건과 굴곡조건(해당지반상황 고려요망)에 대해서 선정시험을 실시한 후 PD재를 선정하도록 한다.

다. PD의 환산 직경

PD는 일반적으로 폭 10cm, 두께 3mm 정도의 판형 제품이 많다. 이와 같은 판형의 PD를 설계할 경우에는 Kjellman의 이론에 의해 등가 원형단면으로 환산한다. 환산직경(d_e)은 사용하는 PD재의 전체 주장이 원통형의 주장과 같다고 하여 산정하는 것으로 Hansbo(1979)는 유한요소 해석을 실시하여 상기 이론을 검증하여 식 (부록1)를 제안했다.

$$d_w = \frac{2(a+b)}{\pi} \quad (\text{부록1})$$

여기서, a, b는 각각 PD재의 폭과 두께이다. 이것에 대하여 Rixner 등(1986)은 식 (부록2)를 제안했다.

$$d_w = \frac{(a+b)}{2} \quad (\text{부록2})$$

현재까지 설계에서는 폭 10 cm, 두께 3 mm의 PD를 등가환산직경으로 5cm를 채용하는 경우가 많았다. 이 결과에 의하면 식 11.5는 안전율 $F_s=1$ 을 나타내는 것으로 된다. 차(1994)은 대형압밀시험장치(직경 : 45cm, 높이 : 50cm)를 이용하여 실험적인 검증을 실시하여 PD의 등가환산직경 d_w 는 $2(a+b)/\pi \geq d_w > (a+b)/2$ 의 관계를 얻었다. 또한 及川 등(1989)은 현장시험에서 PD의 등가환산직경을 60mm($2(a+b)/\pi$ 의 94%)를 취한 경우 예측에 가까운 거동을 나타낸다고 보고하고 있다. 이들의 결과를 종합할 때 PD의 환산직경 d_w 는 Hansbo(1979)가 제안한 값의 90%를 즉, $d_w=1.8(a+b)/\pi$ 취하는 것이 합리적인 것으로 판단된다.

3. 설계

가. 타설형태

PD의 타설시 배열은 연직(세움)형과 수평(누움)으로 설치한다. 양자의 형태는 실내시험, 현장시험 및 해석연구에서 연직형이 압밀에 더 유리한 것으로 판명되므로 가능한 연직타설로 한다.

나. 타설간격

PD의 타설간격은 소요의 공기내에 소정의 압밀도(U)가 얻어질 수 있도록 각종의 토질조건(압밀계수, c_h , c_v), PD 타설형태에 따라 2층 스미어 존에 의한 수치해석에 의해 계산을 실시하여 구해본 결과 일반적으로 2.0m 정도의 값이 유리한 것으로 알려졌다.

타설간격은 너무 넓게 하면 압밀배수거리가 멀어져 이론대로 압밀이 진행되지 못하는 점이 있고, 너무 좁게 할 경우 PD타설시 발생하는 타설과 경작작업에 의해 지반의 교란(smear)에 의한 영향으로 계산 결과보다 압밀이 지연될 우려가 크므로 적정간격의 타설이 요망된다. 아울러 증발산량, 농작물 뿌리와 흙사이 틈에 의한 배수시간 감소 등에 관한 추가연구결과가 고려될 필요가 있다.

다. 수치해석에 의한 압밀도 계산

PD에 의한 압밀배수 계산과정은 그림 수치해석 모델 개념도에 나타내는 바와 같이 유한차분법(F.D.M.)에 의한 프로그램을 이용하였다. 프로그램은 연직(세움)형일 때는 VSMEAR 프로그램, 수평(늪움)형일 때는 SMEAR 프로그램 두 종류이다.

프로그램 입력데이터는 다음과 같다.

- 1) 타설년도(1) 또는 2차년도(2)를 구분하는 조건
- 2) 타설간격의 $\frac{1}{2}$ 길이(HX), 한 node의 길이(DELX)
- 3) 타설심도(HZ), 한 node의 길이(DELZ)
- 4) z방향의 내부 스미어 존의 범위(HZ1),
외부 스미어 존의 범위(HZ2)
- 5) x방향의 내부 스미어 존의 범위(HX1),
외부 스미어 존의 범위(HX2)

6) PD의 폭

7) x방향 각 존의 압밀계수(C_{vx1} , C_{vx2} , C_{vx3})

8) z방향 각 존의 압밀계수(C_{vz1} , C_{vz2} , C_{vz3})

9) 미소시간(DELTA), 소요일(TIME)

프로그램 사용시 유의사항은 다음과 같다.

1. $C1=2\text{delt} \times \text{cvx}/\text{delz}^2$ 의 값이 너무 크지 않도록 조정 한 후 프로그램을 돌려야 한다.
2. C1 조정방법은 CVX와 DELZ값이 고정이므로 DELT의 값이 작도록 해야 한다. 대략 C1의 값은 1~10정도이면 된다.
3. $\text{TIME}/\text{DELTA} < 10000$ 이 되어야 안정상에 문제가 발생하지 않는다.

수치해석에 의해서 각 타설조건 및 압밀계수에 따른 해석결과는 다음 각 표에 나타낸다. 현장조건과 배수가능기간 등을 고려하여 설계시 다음 각 표의 자료활용이 요망된다.

표 1. 타설간격 2m에 대한 해석결과

조건	타설간격 (m)	범례명	압밀도 (%)			
			70	80	90	95
수직	2m	Vertical type case 1	11.62일	15.68일	22.62일	29.57일
		Vertical type case 2	16.51일	22.73일	35.91일	62.01일
		Vertical type case 3	23.24일	31.36일	45.26일	59.15일
		Vertical type case 4	"	"	"	"
		Vertical type case 5	200일 66.4%			
		Vertical type case 6	27.40일	36.47일	50.67일	62.55일
		Vertical type case 7	200일 57.73%			
		Vertical type case 8	68.24일	90.03일	122.83일	148.54일
		Vertical type case 9	200일 29.24%			
		Vertical type case 10	112.22일	138.43일	169.20일	186.80일
수평	2m	Horizontal type cacs 1	16.51일	22.18일	31.88일	41.59일
		Horizontal type cacs 2	22.53일	31.62일	49.22일	86.09일
		Horizontal type cacs 3	33.00일	44.36일	63.76일	83.16일
		Horizontal type cacs 4	"	"	"	"
		Horizontal type cacs 5	200일 65.87%			
		Horizontal type cacs 6	38.49일	50.97일	70.51일	86.86일
		Horizontal type cacs 7	200일 54.49%			
		Horizontal type cacs 8	98.83일	129.68일	176.19일	93.48일
		Horizontal type cacs 9	200일 25.15%			
		Horizontal type cacs 10	163.97일 70%		200일 79.97%	

표 2. 타설 간격 3m에 대한 해석결과

조건	타설간격 (m)	범례명	압밀도 (%)			
			70	80	90	95
수직	3m	Vertical type case 1	20.45일	27.66일	39.99일	52.35일
		Vertical type case 2	29.51일	41.08일	65.02일	114.00일
		Vertical type case 3	40.90일	55.33일	80.00일	104.63일
		Vertical type case 4	"	"	"	"
		Vertical type case 5	200일 64.78%			
		Vertical type case 6	49.88일	65.21일	90.78일	111.21일
		Vertical type case 7	200일 49.05%			
		Vertical type case 8	121.92일	161.43일	200일 87.03%	
		Vertical type case 9	200일 20.95%			
		Vertical type case 10	193.70일	200일 71.49%		
수평	3m	Horizontal type cacs 1	27.77일	37.37일	53.80일	70.25일
		Horizontal type cacs 2	39.00일	54.01일	85.00일	149.00일
		Horizontal type cacs 3	55.55일	74.74일	107.55일	140.40일
		Horizontal type cacs 4	"	"	"	"
		Horizontal type cacs 5	200일 63.45%			
		Horizontal type cacs 6	65.48일	86.82일	120.25일	148.29일
		Horizontal type cacs 7	200일 44.67%			
		Horizontal type cacs 8	167.79일	200일 76.48%		
		Horizontal type cacs 9	200일 17.74%			
		Horizontal type cacs 10	200일 56.48%			

표 3. 타설간격 4m에 대한 해석결과

조건	타설간격 (m)	범례명	압밀도 (%)			
			70	80	90	95
수직	4m	Vertical type case 1	31.30일	42.47일	61.58일	80.72일
		Vertical type case 2	46.01일	65.70일	102.34일	181.03일
		Vertical type case 3	62.61일	84.92일	123.09일	161.33일
		Vertical type case 4	"	"	"	"
		Vertical type case 5	200일 61.45%			
		Vertical type case 6	75.81일	101.51일	141.81일	175.62일
		Vertical type case 7	200일 40.26%			
		Vertical type case 8	189.75일	200일 71.87		
		Vertical type case 9	200일 15.93%			
		Vertical type case 10	200일 54.47%			
수평	4m	Horizontal type cacs 1	41.07일	55.39일	79.88일	104.43일
		Horizontal type cacs 2	58.60일	81.82일	128.98일	200일 94.46%
		Horizontal type cacs 3	82.13일	110.73일	159.69	200일 94.34%
		Horizontal type cacs 4	"	"	"	"
		Horizontal type cacs 5	200일 59.02%			
		Horizontal type cacs 6	97.96일	130.22일	180.86일	200일 92.54
		Horizontal type cacs 7	200일 36.09%			
		Horizontal type cacs 8	200일 61.65%			
		Horizontal type cacs 9	200일 13.44%			
		Horizontal type cacs 10	200일 42.83%			

표 4. 타설간격 5m에 대한 해석결과

조건	타설간격 (m)	범례명	압밀도 (%)			
			70	80	90	95
수직	5m	Vertical type case 1	44.18일	60.12일	87.39일	114.74일
		Vertical type case 2	66.43일	93.12일	148.55일	200일 93.47%
		Vertical type case 3	88.33일	120.17일	174.71일	200일 92.74%
		Vertical type case 4	"	"	"	"
		Vertical type case 5	200일 56.36%			
		Vertical type case 6	103.22일	145.43일	200일	89.50%
		Vertical type case 7	200일 33.20%			
		Vertical type case 8	200일 59.40%			
		Vertical type case 9	200일 13.12%			
		Vertical type case 10	200일 43.70%			
수평	5m	Horizontal type cacs 1	56.40일	76.22일	110.15일	144.24일
		Horizontal type cacs 2	82.00일	114.52일	181.13일	200일 91.42%
		Horizontal type cacs 3	112.75일	152.39일	200일	87.70%
		Horizontal type cacs 4	"	"	"	"
		Horizontal type cacs 5	200일 53.29%			
		Horizontal type cacs 6	135.93일	181.27일	200일	83.19%
		Horizontal type cacs 7	200일 29.59%			
		Horizontal type cacs 8	200일 50.51%			
		Horizontal type cacs 9	200일 10.78%			
		Horizontal type cacs 10	200일 34.34%			

표 5. 타설 간격 10m에 대한 해석결과

조건	타설 간격 (m)	범 예 명	압밀도 (%)			
			70	80	90	95
수직	10m	Vertical type case 1	138.86일	191.10일	200일	81.33%
		Vertical type case 2	200일 67.22%			
		Vertical type case 3	200일 59.40%			
		Vertical type case 4	"			
		Vertical type case 5	200일 32.71%			
		Vertical type case 6	200일 52.04%			
		Vertical type case 7	200일 16.82%			
		Vertical type case 8	200일 30.12%			
		Vertical type case 9	200일 6.41%			
		Vertical type case 10	200일 21.93%			
수평	10m	Horizontal type cacs 1	163.42일	200일 76.59%		
		Horizontal type cacs 2	200일 62.82%			
		Horizontal type cacs 3	200일 53.79%			
		Horizontal type cacs 4	"			
		Horizontal type cacs 5	200일 30.29%			
		Horizontal type cacs 6	200일 47.01%			
		Horizontal type cacs 7	200일 14.95%			
		Horizontal type cacs 8	200일 25.52%			
		Horizontal type cacs 9	200일 5.41%			
		Horizontal type cacs 10	200일 17.23%			

라. 타설심도

PD를 타설하는 심도는 개량대상 저습답의 지표면으로부터 60cm로 한다. 왜냐하면, 대상토층의 하부에 모래층 등의 투수층이 있을 때 경우에 따라 피압대수층으로 되어 있을 수 있다. 하부모래층이 피압대수층일 경우에는 이 층까지 타설된 PD재는 피압대수층의 배수정로의 역할을 할 가능성이 있어 연약점토층의 간극수압 배출효과를 저해할 우려가 있다. 또한, PD기둥은 타설장이 간격에 비하여 매우 길며 유입되는 간극수가 수평방향으로 흘러 모관작용에 의해 상부로 배출되기 때문에 하층의 모래층까지 PD재를 도달시키는 것은 의미가 없는 것으로 판단된다.

제 6 절 시 공 지 침

1. 개 설

가. 적용범위

연약지반의 저습답의 배수개선을 위하여 사용하는 플라스틱 드레인(PD)의 품질기준과 시공기준에 대하여 규정한다.

나. 드레인 자재 품질기준

1) 시험시공 시험결과

표 6. PD재 시험결과

시험종목	단위	Colbond CX-1000	Amerdrain 407	Mebra MD-88	국산 접착식PDB	시험방법	비고	
△드레인재								
· 중량	g/m	76.5~79.1	75.9~78.2	94.3	128~141	KS K 0515	절단 시 강도	
· 폭	mm	97	103~103.4	99.6	94.3~94.4	KS K 0505		
· 두께	mm	4.6~4.9	2.8~2.9	3.9	2.9~3.3	KS K 0506		
· 인장강도	kg/전폭	204~216	223~309	357	400~436	KS K 0520		
· 배수성능 (q_w)		Delft ASTM 방법 D4716	Delft ASTM 방법 D4716	Delft ASTM 방법 D4716	Delft ASTM 방법 D4716			
10kpa	cm ³ /sec	80 115	90 189	119 199	41 -			
300kpa	"	31 79	50 151	57 161	31 -			
360kpa	"	21 70	40 143	- -	28 -			
△필터재								
· 투수계수	cm/sec	(6.3-8.1) $\times 10^{-2}$	(1.7-7.9) $\times 10^{-2}$	(4.5-6.9) $\times 10^{-3}$	(4.60-5.9) $\times 10^{-3}$	KS F 2322		
· 인장강도					-	KS F 2322		
- 길이	kg	67.7~72.7	56.8~60.6	81.5~81.7	-			
- 폭	"	49.1	55.4~59.0	73.9~86.1	-			
· 인장강도					-	KS F 2322		
- 길이	%	33	52~78	-	-			
- 폭	"	40	53~87	-	-			
· AOS(O_{90})	μ m	68~74	77~101	63~74		IOS 12956		
△내화학적성								
· 황산(30%)	%	0.4	0.3	0.2	0.5			
· 염산(20%)	"	0.4	0.3	0.1	0.4			
· Naoh(40%)	"	0.5	0.7	0.4	1.0			
· NaCl(10%)	"	0.3	0.2	0.1	0.3			

2) 품질기준 검토

가) 개요

플라스틱 드레인재는 다양한 형태 및 종류가 생산되고 있으나 그 품질의 차이가 심하므로 제품에 대한 적절한 시방규격과 철저한 시험

검사가 저습담의 배수개선에 관건이 된다. 드레인에 관한 품질규정은 다양하나 가장 기본적이고 중요한 사항은 다음과 같다.

- (1) 드레인 발생되는 인장력에 손상되지 않는 인장강도가 있어야 한다.
- (2) 드레인에 작용하는 타설시 중기의 주행, 경작작업에 따른 굴곡, 쥐임이 발생하여도 압밀수를 적절하게 배수시킬 수 있는 통수능력이 유지되어야 한다.
- (3) 필터재가 점토입자의 clogging에 의해 투수계수가 저하되어도 현장의 투수계수가 유지되어야 한다.

나) 중요 품질기준 검토

(1) 필터의 간극크기 (Apparent Opening Size)

드레인을 싸고 있는 필터재는 압밀수는 원활하게 통과시키면서 D_{85} 입경이 $15 \sim 30 \mu\text{m}$ 인 실트, 점토 입자는 통과시키지 않는 기본적인 요건을 갖추어야 한다. 필터재에 요구되고 있는 간극크기의 기준은 많은 연구결과가 발표되었지만 가장 보편적으로 사용되는 값은 $O_{90} = 90 \mu\text{m}$ 이다.

필터의 간극크기(AOS) 시험방법(ASTM D 4751-95)은 Glass bead를 사용하여 필터재에 대한 통과시험을 할 때 시료의 90%가 필터재를 통과시키지 않고 남는 Glass bead의 규격을 O_{90} , 시료의 95%가 통과하지 않고 남는 Glass bead의 규격을 O_{95} 로 칭한다.

ASTM D 4751-95의 시험방법은 O_{95} 를 측정하도록 규정되어 있으나 본 시방서 규정은 O_{90} 을 기준하였으므로 O_{90} 에 대한 필터의 간극크기로 결정하도록 시험의뢰시 요청하여야 한다.

(2) 필터의 투수성

필터재로 사용되는 토목섬유에 대한 일반적인 규정은 K섬유 $\geq 10K$ 흙이다. 그러나 점토, 실트의 투수계수는 $10^{-7}m/sec \sim 10^{-8}m/sec$ 이며, 대부분의 토목섬유 필터재는 $10^{-4}m/sec$ 보다 큰 투수계수를 갖고 있다.

시험방법으로는 건설기술관리법 시행규칙에서 KSF 2322를 사용하도록 하고 있으나 이 방법은 흙의 투수계수 시험방법이므로 토목섬유의 투수성에 대한 고유시험 방법인 ASTM D 4491의 방법을 사용함이 타당할 것이다.

(3) 배수성능

저습답에 설치된 드레인에 흐르는 최대유량은 현장 측정결과 $(1.5 \sim 5.0) \times 10^{-6}m^3/sec$ 이나 (Koemer, 1994) 시험시공에 사용된 드레인에 대한 시험결과는 이 최대유량을 훨씬 상회한다. 그러나 드레인은 지반에 타입후 다음과 같은 영향을 받게된다.

- ① 토압에 의해 필터재가 드레인의 코어속으로 끼어 들어가는 변형과 장기간에 걸친 소성변형 발생
- ② 코어내에 토사 세립자의 퇴적과 필터재의 투수성 감소
- ③ 침하기간동안 비틀림과 굴곡에 의한 투수능력의 감소

드레인의 배수성능 시험방법으로는 화란 Delft 공대에서 개발된 방법과 ASTM D 4716에 의한 방법이 있다.

일반적으로 이용되고 있는 배수성능 시험방법인 ASTM D 4716 규정은 드레인을 위한 고유 시험방법이 아닌 토목섬유의 통수능력에 대한 일반적인 시험방법으로서 가압판이 저압축성인 얇은 고무를 입힌 강철판으로서 현장지반조건과 상이하며, 하중작용 시간도 단지 15분으로서 필터재가 코어속으로 변형됨과 굴곡, 꺾임에 따른 통수능력

의 감소가 반영되지 않아 현장조건대로 시험이 되지 않는다. 따라서 실제 현장에서의 최대 유량과 드레인재 배수성능 시험에서의 배수성능간에는 상당한 안전율이 있어야 하며, Holtz(1990)는 이러한 안전율로서 18이 필요하다고 하였다.

Rawes(1996)는 ASTM D 4716에 의한 배수성능 시험시 가압판에 form rubber를 사용하고, 350KN/m²의 축압과 드레인내의 흐름이 층류상태일 때 배수성능(q_w) $\geq 60 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{sec}$ 이어야 한다고 제안하였다.

시험시공에 사용된 드레인의 ASTM D 4716에 의한 배수성능시험 결과는 300KN/m²의 축압에서 $(80-160) \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{sec}$ 이었다. 이상과 같은 기존 연구결과와 시험시공에 사용된 자재의 시험결과를 고려할 때 Rawes가 제안한 $q_w \geq 60 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{sec}$ 가 적합한 것으로 판단된다.

배수성능 시험(ASTM D 4716-95)규정에 의한 배수시험은 단위시간당 평균배수량($Q_t: \text{m}^3/\text{sec}$)을 측정하여 단위폭당 흐름을($q_w: \text{m}^3/\text{sce-m}$)을 다음과 같이 계산하도록 규정되어 있다.

$$q_w = Q_t / w \quad (\text{부록 3})$$

여기서, q_w : 단위폭당 흐름율(Flow Rate : $\text{m}^3/\text{sce-m}$)

Q_t : 드레인재를 통과한 단위시간당 평균배수량(m^3/sce)

w : 시료의 폭(m)

그러나, 본 지방기준의 $Q_w = Q_t / i$ 로 계산된 배수성능이므로 배수성능은 ASTM D 4716-95 시험방법의 Q_w (Flow Rate)와 혼동하지 않아야 한다.

$$Q_w = Q_t / i$$

(부록 4)

여기서, Q_w : 통수능력

Q_t : 드레인재를 통과한 단위시간당 평균배수량(m^3/sce)

i : 동수구배

그러므로 시험 의뢰시에는 Q_w 값 계산방법, 동수구배, 가압조건을 명시하여 시험을 의뢰하여야 한다.

(4) 인장강도

드레인의 인장강도는 지습답에 타입시에 필요한 강도이며 지반의 압밀축진과는 직접적인 관련이 없다. 드레인의 인장강도는 최대변형율이 10%를 초과하면 코어 단면이 파괴되어 강도로서의 의미가 없으므로 변형율 10%이내에서의 강도가 필요하다. 소요 인장강도는 0.5KN 이상이 요망된다. 그리고 드레인에 과다한 인장응력을 주지 않으면서 드레인재 보드를 지습답에 타입할 수 있는 장비가 중요하다.

인장강도를 시험하는 방법으로는 KSK 0520(GRAB법) ASTM D 4795, ASTM D 4632의 방법이 있으나 현재 국내에서 사용되고 있는 KS K 0520 방법(GRAB법)과 ASTM D 4632 방법은 폭 25.4mm × 길이 50.8mm의 클램프를 사용하는 GRAB 방법으로 실제 타입시 드레인에 작용하는 하중을 대표하지 못하므로 KS K 0520 전폭법 또는 ASTM D 4595에 의한 시험법을 사용하여야 할 것이다.

(5) 규격 및 형상

대부분의 드레인은 폭 10cm 두께 3~4mm로서 제작되고 있다. 드레인은 배수성이 지배적인 요인이므로 두께가 결정적인 변수는 아니다. 드레인의 제작방법은 종전의 접착식과 최근 많이 사용되는 포켓방식으로 대별할 수 있으며 접착식은 필터재에 대한 품질관리가 현실적으로 불가능하고 (필터재 원단을 열융착 방법으로 접합하는 단계에서 필터재의 성능 변화가 예상되나 접착후의 필터재 성능을 검사할 수 있는 방법이 없다), 필터재가 얇아 지반내에서 2-3년간 원래의 기능을 유지할 수 있을지 의문시 되며, 지반변형에 따라 필터재와 내부 코어재의 상대적인 변형이 자유로워야 하나 접착되어 변형이 자유롭지 못하므로 가능한 포켓방식의 드레인 사용이 필요하다. 단, 필터재의 압착제 풀림에 따른 접착부의 열화특성 검토가 요망된다.

(6) 내화학성

드레인이 화학물질, 해수등에 장기간 영향을 받을 경우에 대한 안정성으로서 기 사용되고 있는 일반적인 기준을 적용하면 문제가 없을 것으로 판단된다.

다) 시험 및 검사

(1) 본 자재의 시방규격 적합여부를 판정하기 위하여 감독원 입회하에 임의의 부분에서 시료를 채취하여 다음의 기관에서 시험을 실시하여 합격여부를 판정한다.

(가) 품질시험 실시기관

- 국립공업기술원
- 한국원사직물 시험검사소

- 계량 및 검정에 관한 법률에 의한 공인검사시험기관
- 건설기술관리법에 의한 품질시험 대행자
- 기타 공정성이 인정되는 대학교 및 기업연구소

(나) 시험빈도는 100,000m당 1회를 실시한다.

(2) 시험을 위한 시료는 사용할 자재 수량에 의거 균일한 빈도로 채취될 수 있도록 하여야 한다.

2. 타설순서

PD를 고안한 타설장비로 저습담 타설순서는 다음과 같다.

가. 트럭으로 드레인 타설장치를 현장에 운반한다.

나. 분리된 각 타설장치를 트랙터에 조립한다.

다. 1롤의 드레인을 타설장비에 설치한다.

라. 일정 위치에 고저 지시대를 위치한다.

마. 드레인 시작점을 타설지점에 고정하여 트랙터를 주행하면서 타설을 실시한다.

바. 트랙터 운전자는 주행해나가면서 반사판에 투사된 레이저 점이 십자선의 중앙점에서 벗어나지 않도록 주행방향과 드레인의 타설장치의 관입깊이를 조절한다.

사. PD재가 수평으로 일정구배를 가지고 설치되는 경우는 출발점과 끝나는 점의 고저차를 확인한 뒤에 미리 배수개선 대상담의 측면에 10m 간격으로 거리를 표시해둔 후에 그 거리에 해당하는 고저차 만큼 레이저 점의 위치가 종방향으로 변하도록 한다.

아. 타설간격에 따라 이 작업을 반복 실시한다.

PD타입장비 트랙터의 중량을 저습담 기초지반지지력을 고려하여 타설장비의 총 무게를 제한 시켜야한다. 그러나, 부득이한 경우는 접지압을 줄일 수 있도록 물논바퀴를 부착하여 시공하여야 한다.

PD 타설시 다음과 같은 사항에 유의하여야 한다.

- ① 담 표면의 미세한 고저차(5~10cm) 및 연경도차이에 기인하여 PD재가 종방향으로 굴곡이 발생함에 따라 통수능력을 저하시키는 문제점이 있는 것이다.
- ② 배수개선사업을 필요로 하는 저습담의 표층이 연약하여 견인장치인 트랙터의 바퀴가 빠져서 작업능률 저하를 초래하지 않도록 사전접지압을 검토하고 물논바퀴를 부착한 후 타설한다.
- ③ PD재 타설시 시점부에서는 PD재의 선단이 트랙터 주행에 따라 끌려가지 않도록 강봉 등으로 고정시키고, 트랙터의 주행에 의해 발생된 견인력이 PD재의 허용인장력 이내로 하여 PD재의 손상을 방지하여야 한다.

2. 설계 프로그램

```
PROGRAM VSMEAR
INTEGER OPTION
  INTEGER TK,TKK
DIMENSION TITLE(20),TX(100000),STRAV(100000)
C   DIMENSION STR(60)
COMMON/BLK1/E(0:250,0:250)
COMMON/BLK2/E1(0:250,0:250)
COMMON/BLK3/E2(0:250,0:250)
COMMON/BLK4/C1(0:250,0:250)
COMMON/BLK5/C2(0:250,0:250)
COMMON/BLK6/C3(0:250,0:250)
COMMON/BLK7/C4(0:250,0:250)
COMMON/BLK8/CVX(0:250,0:250)
COMMON/BLK9/CVZ(0:250,0:250)
COMMON/BLK10/EI(0:250,0:250)
OOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOO
C This program can deal with the consolidation problem with horizontal drains. C
C And this program is written based on the Terzaghi's consolidation theory C
C with finite difference scheme. C
C C
C INPUT DATA C
C ===== C
C TITLE : Title of the project C
C OPTION : 1 if you installed the horizontal drain this year C
C           2 if you installed the horizontal drain at least last year C
C HX : the half of the spacing of plastic drains C
C       the value of HX should be greater than 45cm C
C       and should be the multiple of 2.5cm C
C DELX : delta x of HX (2.5cm at here) C
C CVX1 : the coefficient of consolidation at zone 1 (totally smeared zone) C
C CVX2 : the coefficient of consolidation at zone 2 (moderately smeared zone) C
C CVX3 : the coefficient of consolidation at zone 3 (undisturbed zone) C
C CVZ1 : the coefficient of consolidation at zone 1 (totally smeared zone) C
C CVZ2 : the coefficient of consolidation at zone 2 (moderately smeared zone) C
C CVZ3 : the coefficient of consolidation at zone 3 (undisturbed zone) C
C DELT : delta of TIME C
C TIME : the time of the consolidation finish in your guess C
C C
C ***** This program is for the shape of vertical. ***** C
OOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOO
OPEN(3,FILE='IN.DAT')
OPEN(4,FILE='OUT.DAT')
READ(3,1000)TITLE
```

```

1000  FORMAT(20A4)
      WRITE(4,1001)TITLE
1001  FORMAT(/1X,20A4)
C
C    READ STATEMENT
C
      READ(3,*)OPTION
      READ(3,*)HX,DELX,HZ,DELZ
        READ(3,*)HZ1,HZ2,HX1,HX2
        READ(3,*)HW
      READ(3,*)CVX1,CVX2,CVX3
      READ(3,*)CVZ1,CVZ2,CVZ3
      READ(3,*)DELT,TIME

C
C    ECHO OF INPUT
C
      WRITE(4,1106)OPTION
      WRITE(4,1102)HX,DELX,HZ,DELZ
        WRITE(4,1107)HZ1,HZ2,HX1,HX2
        WRITE(4,1108)HW
      WRITE(4,1103)CVX1,CVX2,CVX3
      WRITE(4,1104)CVZ1,CVZ2,CVZ3
      WRITE(4,1105)DELT,TIME
1102  FORMAT(2X,'HX=',F7.2,2X,'DELX=',F5.2,2X,
+ 'HZ=',F7.2,2X,'DELZ=',F5.2)
1107  FORMAT(2X,'HZ1=',F7.2,2X,'HZ2=',F5.2,2X,
+ 'HX1=',F7.2,2X,'HX2=',F5.2)
1108  FORMAT(2X,'HW=',F7.2)
1103  FORMAT(2X,'CVX1=',F10.5,2X,'CVX2=',F10.5,2X,'CVX3=',F10.5)
1104  FORMAT(2X,'CVZ1=',F10.5,2X,'CVZ2=',F10.5,2X,'CVZ3=',F10.5)
1105  FORMAT(2X,'DELT=',F10.5,2X,'TIME=',F10.5//)
1106  FORMAT(2X,'OPTION=',I3)
C
C
C
      IT=0
      T=0.
      NX=HX/DELX+1
      NZ=HZ/DELZ+1
      NIX=NX+1
      NJZ=NZ+1

C
C    Initialize arrays
C
      TK=NZ-(HW/DELZ+1)
      TKK=TK+1

```

```

DO 665 I=0,NIX
DO 665 J=1,TK
E(I,J)=0.
665 CONTINUE
DO 666 I=1,NIX
DO 666 J=TKK,NZ
E(I,J)=0.
666 CONTINUE
DO 667 I=2,NX
DO 667 J=NJZ,NJZ
E(I,J)=0.
667 CONTINUE
DO 668 I=1,NX
DO 668 J=0,0
E(I,J)=0.
668 CONTINUE
DO 669 I=1,1
DO 669 J=TKK,NZ
E(I,J)=100.
669 CONTINUE
C
DO 225 I=0,NIX
DO 225 J=1,TK
E1(I,J)=0.
225 CONTINUE
DO 226 I=1,NIX
DO 226 J=TKK,NZ
E1(I,J)=0.
226 CONTINUE
DO 227 I=2,NX
DO 227 J=NJZ,NJZ
E1(I,J)=0.
227 CONTINUE
DO 228 I=1,NX
DO 228 J=0,0
E1(I,J)=0.
228 CONTINUE
DO 229 I=1,1
DO 229 J=TKK,NZ
E1(I,J)=100.
229 CONTINUE
C
DO 335 I=0,NIX
DO 335 J=1,TK
E2(I,J)=0.
335 CONTINUE

```

```

DO 336 I=1, NIX
DO 336 J=TKK, NZ
E2(I, J)=0.
336 CONTINUE
DO 337 I=2, NX
DO 337 J=NJZ, NJZ
E2(I, J)=0.
337 CONTINUE
DO 338 I=1, NX
DO 338 J=0, 0
E2(I, J)=0.
338 CONTINUE
DO 339 I=1, 1
DO 339 J=TKK, NZ
E2(I, J)=100.
339 CONTINUE
C
888 DO 555 I=0, NIX
DO 555 J=1, TK
EI(I, J)=0.
555 CONTINUE
DO 556 I=1, NIX
DO 556 J=TKK, NZ
EI(I, J)=0.
556 CONTINUE
DO 557 I=2, NX
DO 557 J=NJZ, NJZ
EI(I, J)=0.
557 CONTINUE
DO 558 I=1, NX
DO 558 J=0, 0
EI(I, J)=0.
558 CONTINUE
DO 559 I=1, 1
DO 559 J=TKK, NZ
EI(I, J)=100.
559 CONTINUE
C
DO 2000 I=0, NIX
DO 2000 J=1, TK
C1(I, J)=0.
C2(I, J)=0.
C3(I, J)=0.
C4(I, J)=0.
2000 CONTINUE
DO 2001 I=1, NIX

```

```

DO 2001 J=TKK,NZ
C1(I,J)=0.
C2(I,J)=0.
C3(I,J)=0.
C4(I,J)=0.
2001 CONTINUE
DO 2002 I=2,NX
DO 2002 J=NJZ,NJZ
C1(I,J)=0.
C2(I,J)=0.
C3(I,J)=0.
C4(I,J)=0.
2002 CONTINUE
DO 2003 I=1,NX
DO 2003 J=0,0
C1(I,J)=0.
C2(I,J)=0.
C3(I,J)=0.
C4(I,J)=0.
2003 CONTINUE
DO 2004 I=1,1
DO 2004 J=TKK,NZ
C1(I,J)=0.
C2(I,J)=0.
C3(I,J)=0.
C4(I,J)=0.
2004 CONTINUE
C
DO 3000 I=1,NX
DO 3000 J=1,NZ
CVX(I,J)=0.
CVZ(I,J)=0.
3000 CONTINUE
C
C Consider smear effect of the soil
C
NX1=HX1/DELX+1
NX2=(HX1+HX2)/DELX+1
NZ1=HZ1/DELZ+1
NZ2=(HZ1+HZ2)/DELZ+1
IF(OPTION,NE.1) GO TO 35?
C
DO 40 I=1,NX
DO 40 J=1,NZ
IF((I.GE.1).AND.(I.LT.NX1).AND.(J.GE.1).AND.(J.LE.NZ)) THEN
CVX(I,J)=CVX1

```

```

CVZ(I, J)=CVZ1
ELSEIF((I. GE. NX1). AND. (I. LE. NX). AND. (J. GE. 1). AND. (J. LT. NZ1))THEN
CVX(I, J)=CVX1
CVZ(I, J)=CVZ1
ELSEIF((I. GE. NX1). AND. (I. LT. NX2). AND. (J. GE. NZ1). AND. (J. LE. NZ))THEN
CVX(I, J)=CVX2
CVZ(I, J)=CVZ2
ELSEIF((I. GE. NX2). AND. (I. LE. NX). AND. (J. GE. NZ1). AND. (J. LT. NZ2))THEN
CVX(I, J)=CVX2
CVZ(I, J)=CVZ2
ELSEIF((I. GE. NX2). AND. (I. LE. NX). AND. (J. GE. NZ2). AND. (J. LE. NZ))THEN
CVX(I, J)=CVX3
CVZ(I, J)=CVZ3
ELSE
ENDIF
C1(I, J)=(2*DELT*CVZ(I, J))/(DELZ**2)
C2(I, J)=(2*DELT*CVX(I, J))/(DELX**2)
C3(I, J)=1+C1(I, J)+C2(I, J)
C4(I, J)=1-C1(I, J)-C2(I, J)
40 CONTINUE
DO 41 J=1, TK
C1(0, J)=C1(2, J)
C2(0, J)=C2(2, J)
C3(0, J)=C3(2, J)
C4(0, J)=C4(2, J)
41 CONTINUE
DO 42 J=1, NZ
C1(NIX, J)=C1(NX-1, J)
C2(NIX, J)=C2(NX-1, J)
C3(NIX, J)=C3(NX-1, J)
C4(NIX, J)=C4(NX-1, J)
42 CONTINUE
DO 43 I=2, NX
C1(I, NJZ)=C1(I, NZ-1)
C2(I, NJZ)=C2(I, NZ-1)
C3(I, NJZ)=C3(I, NZ-1)
C4(I, NJZ)=C4(I, NZ-1)
43 CONTINUE
DO 4444 I=1, NX
C1(I, 0)=C1(I, 2)
C2(I, 0)=C2(I, 2)
C3(I, 0)=C3(I, 2)
C4(I, 0)=C4(I, 2)
4444 CONTINUE
C
GO TO 789

```

```

C
353 DO 401 I=1,NX
      DO 401 J=1,NZ
        IF((J.GE.1).AND.(J.LT.NZ1)) THEN
          CVX(I,J)=CVX1
          CVZ(I,J)=CVZ1
        ELSEIF((J.GE.NZ1).AND.(J.LT.NZ2)) THEN
          CVX(I,J)=CVX2
          CVZ(I,J)=CVZ2
        ELSEIF((J.GE.NZ2).AND.(J.LE.NZ)) THEN
          CVX(I,J)=CVX3
          CVZ(I,J)=CVZ3
        ELSE
          ENDIF
          C1(I,J)=(2*DELTA*CVZ(I,J))/(DELTA**2)
          C2(I,J)=(2*DELTA*CVX(I,J))/(DELTA**2)
          C3(I,J)=1+C1(I,J)+C2(I,J)
          C4(I,J)=1-C1(I,J)-C2(I,J)
401 CONTINUE
      DO 410 J=1,TK
        C1(0,J)=C1(2,J)
        C2(0,J)=C2(2,J)
        C3(0,J)=C3(2,J)
        C4(0,J)=C4(2,J)
410 CONTINUE
      DO 402 J=1,NZ
        C1(NIX,J)=C1(NX-1,J)
        C2(NIX,J)=C2(NX-1,J)
        C3(NIX,J)=C3(NX-1,J)
        C4(NIX,J)=C4(NX-1,J)
402 CONTINUE
      DO 403 I=2,NX
        C1(I,NJZ)=C1(I,NZ-1)
        C2(I,NJZ)=C2(I,NZ-1)
        C3(I,NJZ)=C3(I,NZ-1)
        C4(I,NJZ)=C4(I,NZ-1)
403 CONTINUE
      DO 4044 I=1,NX
        C1(I,0)=C1(I,2)
        C2(I,0)=C2(I,2)
        C3(I,0)=C3(I,2)
        C4(I,0)=C4(I,2)
4044 CONTINUE
C
C Calculate the strains of each node
C

```



```

789 DO 44 I=1, NX
    DO 44 J=1, NZ
    IF((I.EQ.1).AND.(J.GE.TKK).AND.(J.LE.NZ)) GO TO 44
    EI(I, J)=(C4(I, J)/C3(I, J))*E2(I, J)+(C1(I, J+1)/C3(I, J+1))*E1(I, J+1)
    & +(C1(I, J-1)/C3(I, J-1))*E1(I, J-1)+(C2(I+1, J)/C3(I+1, J))*E1(I+1, J)
    & + (C2(I-1, J)/C3(I-1, J))*E1(I-1, J)
44 CONTINUE
C
    IT=IT+1
    T=T+DELT
    TX(IT)=T
    SUM=0.
    DO 80 I=1, NX
    DO 80 J=1, NZ
    SUM=SUM+EI(I, J)
80 CONTINUE
    STRAV(IT)=SUM/(NX*NZ)
    IF((T.GE.TIME).OR.(STRAV(IT).GE.95.0)) GO TO 999
C
C   CHANGES OF TIME STEPS
C
    DO 90 I=1, NX
    DO 90 J=1, NZ
    IF((I.EQ.1).AND.(J.GE.TKK).AND.(J.LE.NZ)) GO TO 90
    E(I, J)=E1(I, J)
    E2(I, J)=E(I, J)
    E(I, J)=E1(I, J)
    E1(I, J)=E(I, J)
90 CONTINUE
    DO 100 J=1, TK
    E1(0, J)=E1(2, J)
    E2(0, J)=E2(2, J)
100 CONTINUE
    DO 110 J=1, NZ
    E1(NIX, J)=E1(NX-1, J)
    E2(NIX, J)=E2(NX-1, J)
110 CONTINUE
    DO 120 I=2, NX
    E1(I, NJZ)=E1(I, NZ-1)
    E2(I, NJZ)=E2(I, NZ-1)
120 CONTINUE
    DO 91 I=1, NX
    E1(I, 0)=E1(I, 2)
    E2(I, 0)=E2(I, 2)
91 CONTINUE
C

```

```
GO TO 888
C
C   PRINT THE TIME AND AVERAGE CONSOLIDATION
C
999 WRITE(4,121)
121 FORMAT(/3X,'*****AVERAGE % CONSOLIDATION*****',/)
122 FORMAT(6X,'TIME=',F7.2,5X,'U% AVE=',F7.2)
DO 130 I=1,IT,200
WRITE(4,122)TX(I),STRV(I)
130 CONTINUE
STOP
END
```