

제1차년도
중간보고서

플라스틱 드레인(PD)재를 이용한 저습답의 배수개선에 관한 기술 개발 연구

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

연구기관

농어촌진흥공사 농어촌연구원

농 립 수 산 부



제 출 문

농림수산부 장관 귀하

본 보고서를 “플라스틱 드레인(PD)재를 이용한 저습답의 배수개선에 관한 기술 개발 연구” 과제의 제 1차년도 보고서로 제출합니다.

1995. 11. .

주관연구기관명 : 농어촌진흥공사 농어촌연구원

총괄책임연구자 : 3 급 최 인걸

협동연구개발자 : 1 급 김 호일

협동연구개발자 : 경상대학교 교 수 윤 충섭

“ : 영남대학교 조교수 박 영목

제 1 차 년도 연구보고서

1995년도 농림수산특정연구사업에 의하여 개발중인 “플라스틱 드레인(PD)재를 이용한 저습답의 배수개선에 관한 기술개발연구”의 제 1차년도 보고서를 별첨과 같이 제출합니다.

첨부 : 1. 제 1차년도 보고서 3부.
2. 자체평가 의견서 1부.

1995. 11. .

주관 연구 기관 : 농어촌진흥공사 농어촌연구원

총괄연구책임자 : 3 급 최 인걸 (인)

주관연구기관장 : 농어촌진흥공사 사장 (직인)

농림수산부장관 귀하

목 차

1. 과 제 명	1
2. 기술개발추진사유	1
3. 연구개발사업목표	2
4. 계획대비 진도표	3
5. 주요연구개발사업내용 및 중간결과	7
6. 기대되는 성과	51
7. 문제점 및 건의사항	52

농수산 기술 개발사업 중간보고서

1. 과제명 : 플라스틱 드레인(PD)재를 이용한 저습답의 배수개선에 관한 기술개발연구

2. 기술개발추진사유

우리나라 논면적은 총 129만ha이나 농민이 작업에 애로를 느끼는 저습답은 12만ha로서 약 9%를 점하고 있다. 또한 전국 약 32만ha의 논을 대상으로 실시한 조사 결과에 의하면 전답변환 적지 비율은 26~30% 정도로 되어있다.

지금까지 우리나라는 주곡의 자급화를 목적으로 답작위주의 농업에 치중해 왔으나 UR체결 등에 기인된 농산물 수입개방, 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 외국으로 부터의 수입에 의존하는 실정이다.

우리나라와 마찬가지로 전세계적으로도 1차 산업인 농업에 종사하는 인력부족 및 산업화에 기인된 농용지의 점용 등으로 식량의 생산성이 저하되리라는 사실은 쉽게 짐작 할 수 있다. 이와 같은 시대적인 요구에 부응하여 농작물의 자급도 확대를 위해서는 대단위 간척사업 등을 통한 농경지 확장의 지속적인 추진은 물론이며, 기존의 논을 배수개선 함으로써 자급율이 낮은 밭 작물의 생산성을 향상 시키는, 즉 농지의 이용율을 증가시키기 위한 경지의 범용화의 필요성이 크게 강조되고 있다.

경지 범용화는 식량자급력의 향상과 토지자원의 고도이용, 지력향상 등의 목표를 지향하는 것으로서 생산기반 정비사업과 같은 의미로 볼 수 있다(여,

1995). 범용경지는 먼저 답작시에 충분한 필요수량을 공급할 수 있어야 할 것이며, 밭작물 재배시에는 작물의 특성에 맞는 토양 수분을 유지할 수 있도록 배수조건을 자체내에서 해결하여 해당 밭작물 재배가 가능하도록 하는 배수개선이다.

농지의 배수는 지표배수와 지하배수의 두 종류로 분리하여 취급하여야 하며 지표배수는 배수로 설치등에 의하여 배제하며, 지하배수는 지하수위를 낮추어 토양중의 과잉수를 배제하는 것이 주목적이므로 작물의 근 균역 아래부분에 암거등을 부설하여 배제하는 것이다.

현재까지 국내·외에서 저습답의 배수불량을 개선하기 위한 암거의 효용성에 대하여 많은 연구를 실시해 왔다. 맹암거는 계획배수 시간내에 논의 토양수분을 적정한도 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. 암거 타설시에 많은 노력과 경비가 소요되고 재료공급 측면에서도 문제가 있다. 또한 암거타설 폭이 넓으므로 지반의 교란범위가 커서 토양중의 간극수 이동이 지연되는 경향이 있다. 이와같은 단점을 보완하는 측면에서 근래에 개발된 띠모양의 플라스틱 드레인(PD, 폭×두께 = 10cm×3mm)재를 암거대용으로 사용함으로써 경제적이고 품질관리 및 시공성이 용이한 지하배수 시스템을 개발하는데 그 목적이 있다.

3. 연구개발 사업목표

가. 최종연구개발사업목표

- 플라스틱드레인(PD)재를 이용한 암거의 개발 및 적용

- PD재를 손쉽게 저습답에 타설하기 위한 장비개발
- PD재를 이용한 암거의 설계 및 시공메뉴얼 작성배부

나. 당해년도 연구개발 사업목표

- 각종 PD재의 물리·역학적 특성연구
- 실내시험용 각종시험장치 제작
- 드레인 설치장비 고안·제작
- PD재의 배수성능 시험
- PD재에 의한 배수개선 효과 규명

4. 계획대비 진도표

-----계획
 —————실적

구분 연구개발내용	연구개발기간												진도 (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
(1) 연구계획 수립 및 준비	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	100
(2) PD재 실내시험장치 개발	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	100
(3) 드레인 설치장비 고안·제작	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	100
(4) PD재의 물리·역학적특성 규명	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	100
(5) 재래식 재료와 성능 비교검토	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	100
(6) PD재의 배수개선 원리 규명	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	100
총진도율	6	10	13	20	28	34	42	57	70	85	100	100	100

< 진도설명 >

(1) 연구계획 수립 및 준비

- '95 연구 추진 목표를 달성 할 수 있는 총체적인 계획수립 및 연구준비
- 정기적인 연구진 협의 및 각 부분 관련 전문가와의 연구방향 및 내용 토의(총4회)

(2) 국내외 자료수집

- 기존의 암거배수와 관련된 각 종 자료수집(농지개량사업 설계기준 (배수편)) 외 11편
- PD재 관련 각 종 논문 수집(100 여편)
- PD재의 수평설치에 관련된 자료수집(3편)

(3) PD재 실내 시험장치 개발 및 제작

- 필터 슬리브의 투수계수와 흙 시료와의 상호작용 및 clogging현상 측정용 장치 제작
- 실물대형의 core 통수능력 측정장치(시험장치 $A \times B \times H = 1.0 \times 2.0 \times 0.5\text{m}$) 개발 및 제작
 - 시험장치의 중앙부에 직경 1m의 지지대를 설치하여 PD재의 길이를 자유로이 조절 할 수 있도록 제작
 - 저습도에 PD재를 타설한 경우의 현장 동수구배를 유지 할 수 있도록 장치제작
- PD재의 복합 통수능력 시험장치($A \times B \times H = 2.0 \times 5.0 \times 1.0\text{m}$) 제작

- 시험장치 외부의 일정 높이에 미동압력계 5개 및 피조메타 4개를 설치하여 간극수압의 경시변화 측정가능
- 아크릴 판 4개를 부착하여 압밀진행상태 관측가능

(4) PD재의 물리,역학적 특성 규명

- 대표적인 PD재(국산 6점, 외제 2점)에 대한 인장강도 및 신율 측정
- 필터 슬리브(filter sleeve)의 투수계수 측정
 - 건식과 습식 타설에 의한 투수계수 차이 분석
 - 각종 PD재의 투수계수 산정

(5) 드레인 설치 장비 고안·제작

- 트랙터(35HP)에 부착하여 간편하고 신속하게 PD재를 저습답 지표면으로부터 50cm심도에 타설 가능한 드레인 설치장비를 고안·제작 완료
- 2차년도(1996)에 미비한 기능을 보완하고, 간척매립농지에도 드레인의 타설이 가능한 기능을 갖춘 장비로 보완하기 위한 연구를 계속 실시할 예정임

(6) 제래식 재료(PVC유공관, 왕겨)와의 배수효과 비교검토

- 현재 경기도 안산시 대부동의 저습답에서 채취한 토질에 대하여 PD(MW)재를 3분 타설하여 장기배수 성능을 측정하였다. 2차년도에 동일 시료에 대해서 제래식 재료(PVC파이프,왕겨)에 대한 배수성능 시험을 실시코저 함. 또한 PD의 타설 간격을 넓힌 조건에서 배수성능 시험도 실시할 예정임.
- PD재의 길이별 통수능력 변화 측정시험 실시

- 2종의 PD재를 대상으로 L =2, 10, 20, 30, 50m 의 조건에서 측압(0.2, 0.5, 1.0 kg/cm²) 및 다양한 동수구배에서 시험 실시
- 2차년도에 PD재의 숫자를 늘려서 하는 시험과 원형PD재, 두께가 두꺼운 PD재를 대상으로 한 추가 시험 실시 예정임. 또한, 왕겨, PVC유공관 등에 대한 통수능력 시험도 실시 할 예정임.

(7) PD재 배수개선 원리 규명

- 필터 슬리브의 투수계수, core의 통수능력, 저습담 토양의 투수계수(가정치) 등을 이용하여 기본적인 배수개선 원리를 규명하였으나,
- clogging등에 의한 통수능력 저하, 시간경과에 따른 PD재의 기능저하, 반복된 배수작용등에 의한 PD재의 열화현상 등의 인자를 고려한 배수개선원리는 2차년도 실내 및 현장시험이 종료된 후 규명 할 예정임.

5. 주요 연구 개발 사업 내용 및 중간결과

저습담의 배수개선에 이용 할 플라스틱 드레인(plastic drain, PD)재의 각종 물리·역학적 특성을 규명하고 PD 재의 실내시험장치 3종을 고안 제작하여 배수개선 효과 규명을 위한 기초적인 실내시험을 실시하고, 현장에서 손쉽고 경제적으로 PD재를 타설하기 위한 드레인 설치장비를 고안·제작하는 당년도 연구개발 사업에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 각종 PD재의 물리·역학적 특성

현재 전세계적으로 생산되고 있는 PD재는 약 50여종에 달한다(Holtz 등, 1981). 이들 중 대표적인 PD재의 물리적 성질은 국내제품과 국외제품으로 나누어 표-1, 2에 나타내었다. 저습담에 드레인 타설장비를 이용하여 PD재를 수평으로 타설 할 경우 PD재의 끝 단을 지중에 고정한 후 설치하기 때문에 PD재의 인장 특성은 매우 중요한 요소이다. Kremer 등(1982)은 PD전체에 대하여 인장강도가 어떠한 경우에도 0.5kN이상이어야 하며, 파괴시의 변형율은 2% 이상 10% 이하를 권장하고 있으며 그림-1에 Kremer 등(1982)이 몇 종류의 PD재에 대하여 인장시험을 실시한 결과를 나타내고 있다.

그림-2에는 차(1994)이 5 종류(CS, CS₂, GL, MW 및 TS)의 국외제품에 대하여 인장시험을 실시한 결과를 나타낸다. 시험에 이용된 5제품 모두 Kremer 등(1982)이 제시한 인장강도 규정 이상을 나타내고 있으며, 파괴시의 변형율도 10% 근처에 있음을 알 수 있다. 국내에서 생산되는 PD재 6종류 및 국외생산 제품 2종류에 대하여 인장시험을 실시하였다. 시험은 KSK 0520에 규정에 의하여 실시하였으며 폭 및 두께는 각사의 기성제품을 그대로 이용하였다. 시료의 길이는 30cm로 하였으며 인장속도는 10±3%/min이고 시험치는 각 제품에 대하여 2~3회씩 시험을 실시하여 그 평균값을 취했다. 표-3에 인장시험 결과를 나타낸다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 국내제품의 인장강도는 36.2~

표-1 국외제품의 대표적인 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	Polypropylene	Polyethylene	Polyethylene	
Structural type		Free	Free	Fixed	Free	One body
Cross-section						

표-2 국내제품의 대표적인 PD재의 물리적 성질

	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
Structual type	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Free	Fixed
Cross-section						

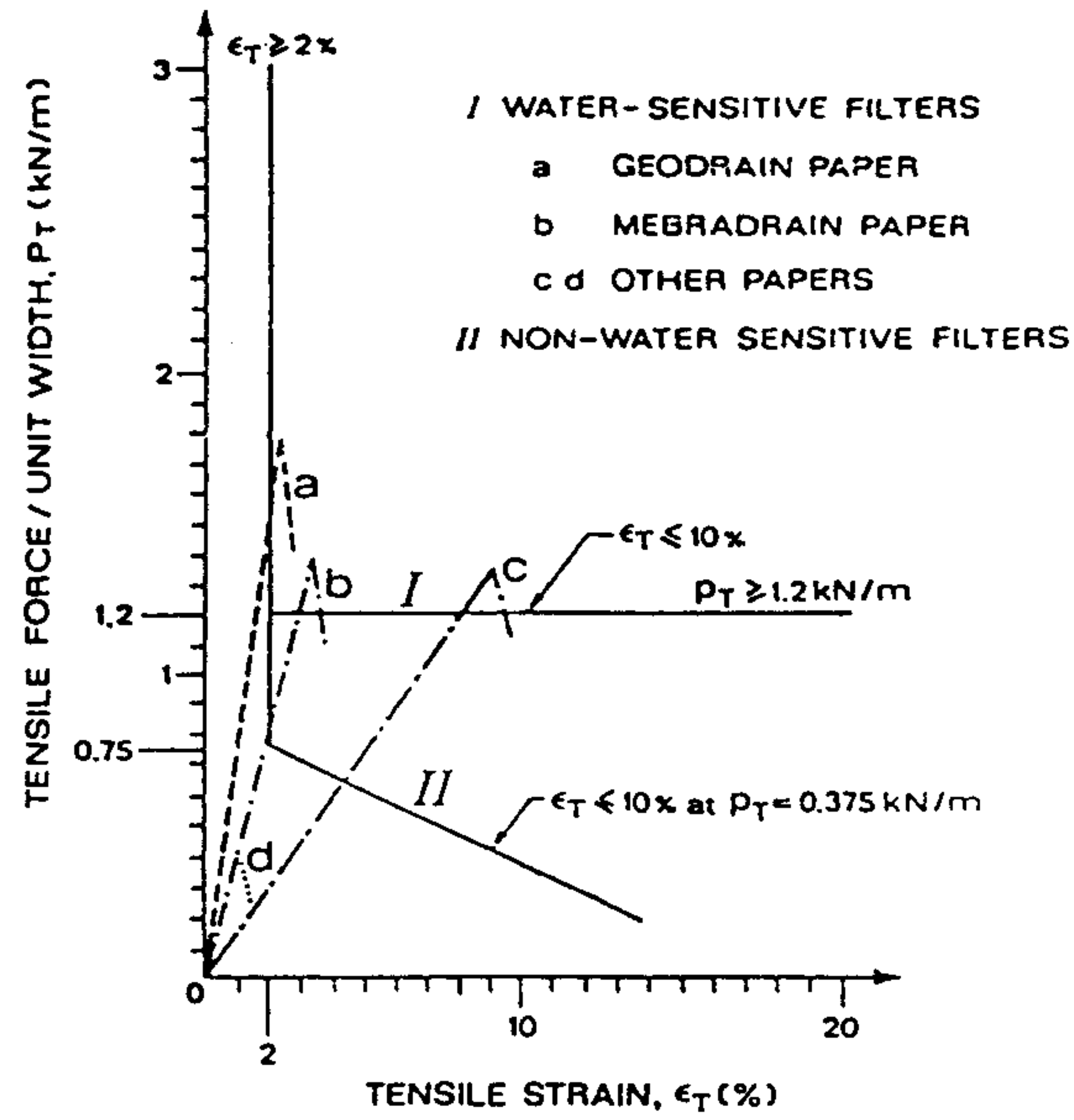


그림-1 PD재의 인장시험 결과 (Kremer등, 1982)

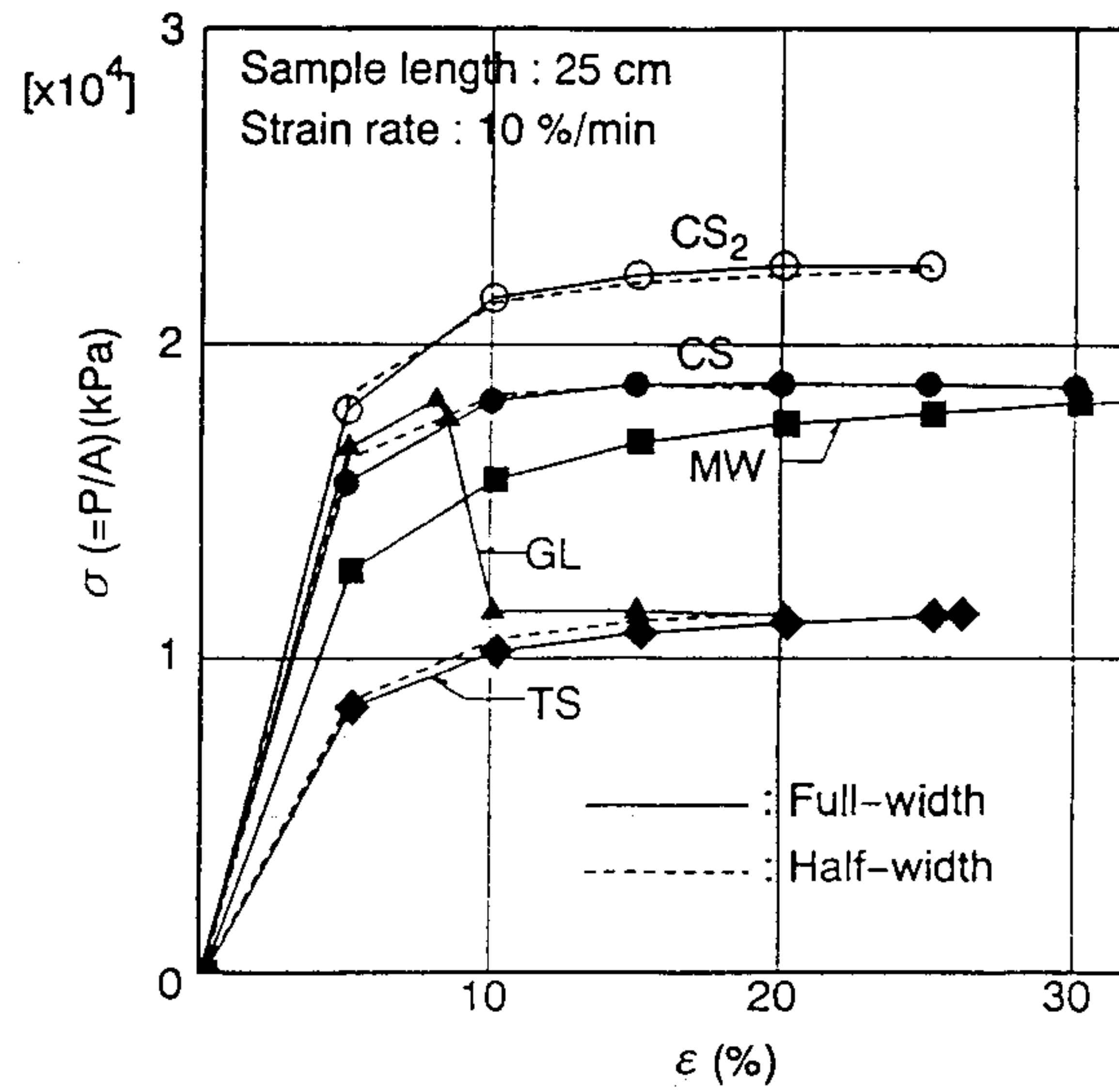


그림-2 PD재의 인장시험 결과 (朴, 1994)

표-3 PD재의 인장시험 결과표

국 명	회사명	규 모		인장강도 (kgf/cm ²)	신 율 도		비 고
		길이(cm)	두께(mm)		늘 어 난 길이(cm)	신율도 (%)	
한 국	한국물산	30	2.5	101.5	2.5	31.25	
	세원산업	30	2.6	64.8	38.5	48.1	
	신원지오텍	30	2.6	45.2	4	62.5	
	덕신산업	30	2.8	41.9	1.23	15.4	
	코오롱산업	30	2.6	37.0	18	22.5	
	대한산자	30	3.10	36.2	49.67	62.07	
일본	지오메브라	30	3.50	130.0	5.0	65.8	
	지오드레인	30	2.60	200.0	3.0	36.4	

101.5 kgf/cm²의 범위를 나타내며 이는 국외제품의 130~200kgf/cm² 보다 훨씬 낮은 값을 나타낸다. 국외제품은 차(1994)이 실시한 시험치인 $\sigma_t = 11,000 \sim 22,000$ KPa (110~220 kgf/cm²)과 거의 같은 값을 보인다. 신도에 있어서는 국내제품이 15~62.5%의 범위인데 대하여 국외제품은 36.4~62.5%의 범위를 나타내어 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

국내생산품 중 낮은 인장강도를 나타내는 PD재는 드레인 타설시 트랙터의 견인력에 의한 파손이 우려되나 구체적인 결과는 2차년도(1996)에 현장에서 드레인 설치장치를 이용하여 직접 타설 시험을 실시한 후 그 적용 여부를 결정 할 예정이다. PD의 물리·역학적 성질에 있어서 또하나의 중요한 인자는 필터 슬리브(filter sleeve)의 투수계수 및 대상지반의 세립토의 이동에 의해 발생하는 필터슬리브의 구멍막힘(clogging)등에 의한 배수성능 저하이다.

그림-3에는 필터슬리브의 투수계수를 측정하기 위한 시험장치를 나타낸다. 시험장치는 직경 20cm, 높이 50cm의 아크릴로 제작된 2대의 시험 본체와 정수위 투수시험을 위한 동수구배 조절을 위하여 유입,유출 수조(A×B×H = 0.3×0.3×0.3m)와 연결호스 ($\phi = 3$ cm)를 접속하였다.

실험에서 pipe의 크기가 filter sleeve의 투수계수에 영향을 끼치지 않도록 직경 2.5cm로 했으며 이를 검증하는 방법은 다음과 같다. 먼저 filter sleeve를 부착하지 않은 시험기만으로 수두차를 50mm, 10mm, 5mm, 75mm로 하여 얻은 유량으로써 Q-h곡선을 그린다. 그리고 filter sleeve를 셋트하여 같은 수두차로 실험한 Q-h곡선을 그려서 이 두곡선이 이 두 곡선이 교차하게 되면은 시험기로 통해 유출입 되는 물의 양이 부족한 것이므로 시험기 자체에 유입되는 유량을 재조정 하여야 한다. 즉, 유출·입 pipe의 직경이 더 큰 것을 사용해야 한다.

그림-4에는 두 조건의 실험조건에서 얻은 Q-h의 관계를 나타낸다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 셀만으로 통과시킨 경우가 filter sleeve를 장착한 경우보다 Q의 양이 많으므로 filter sleeve의 투수계수에는 영향을 주지 않을 것으로 판단된다.

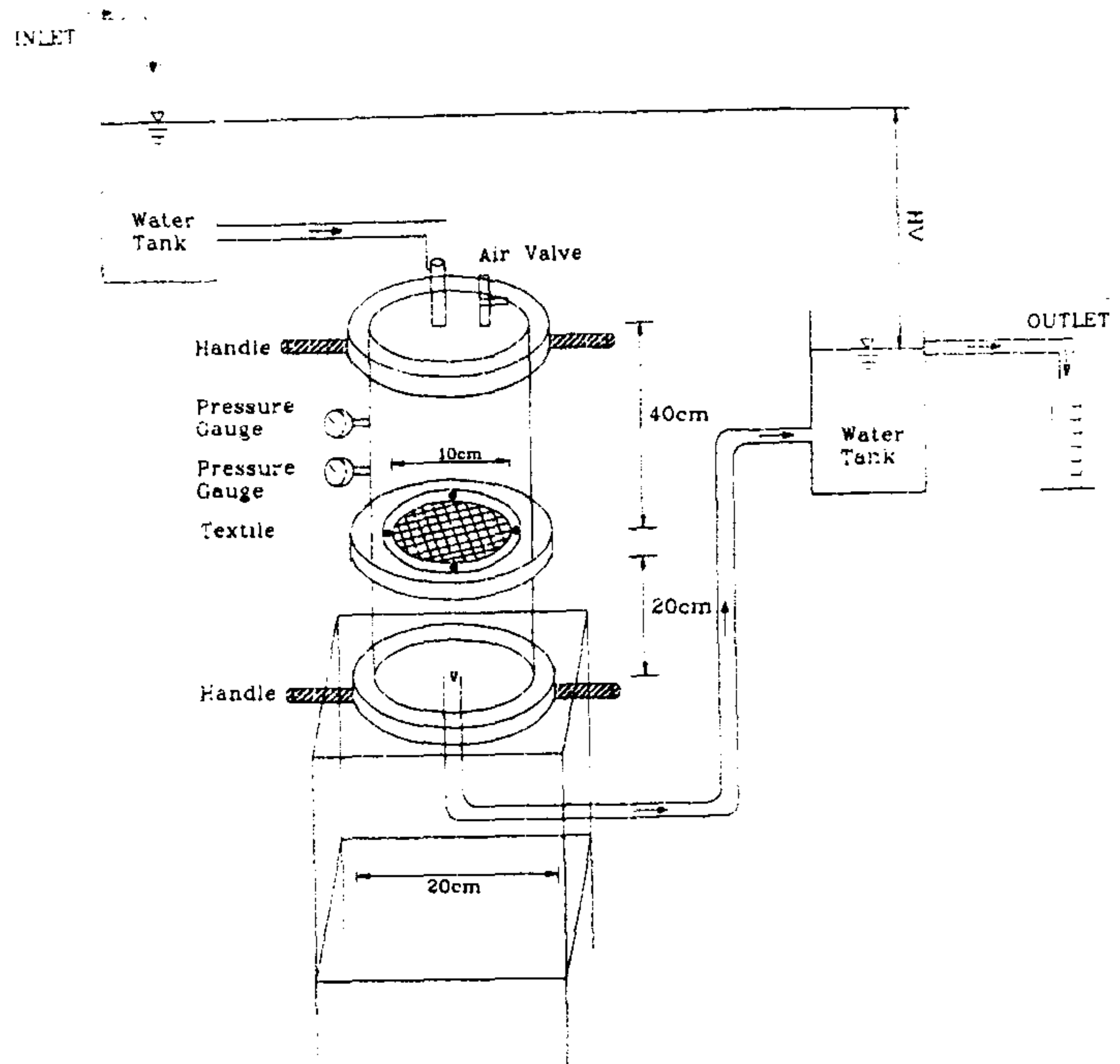


그림-3 필터 슬리브의 투수계수 측정용 시험장치

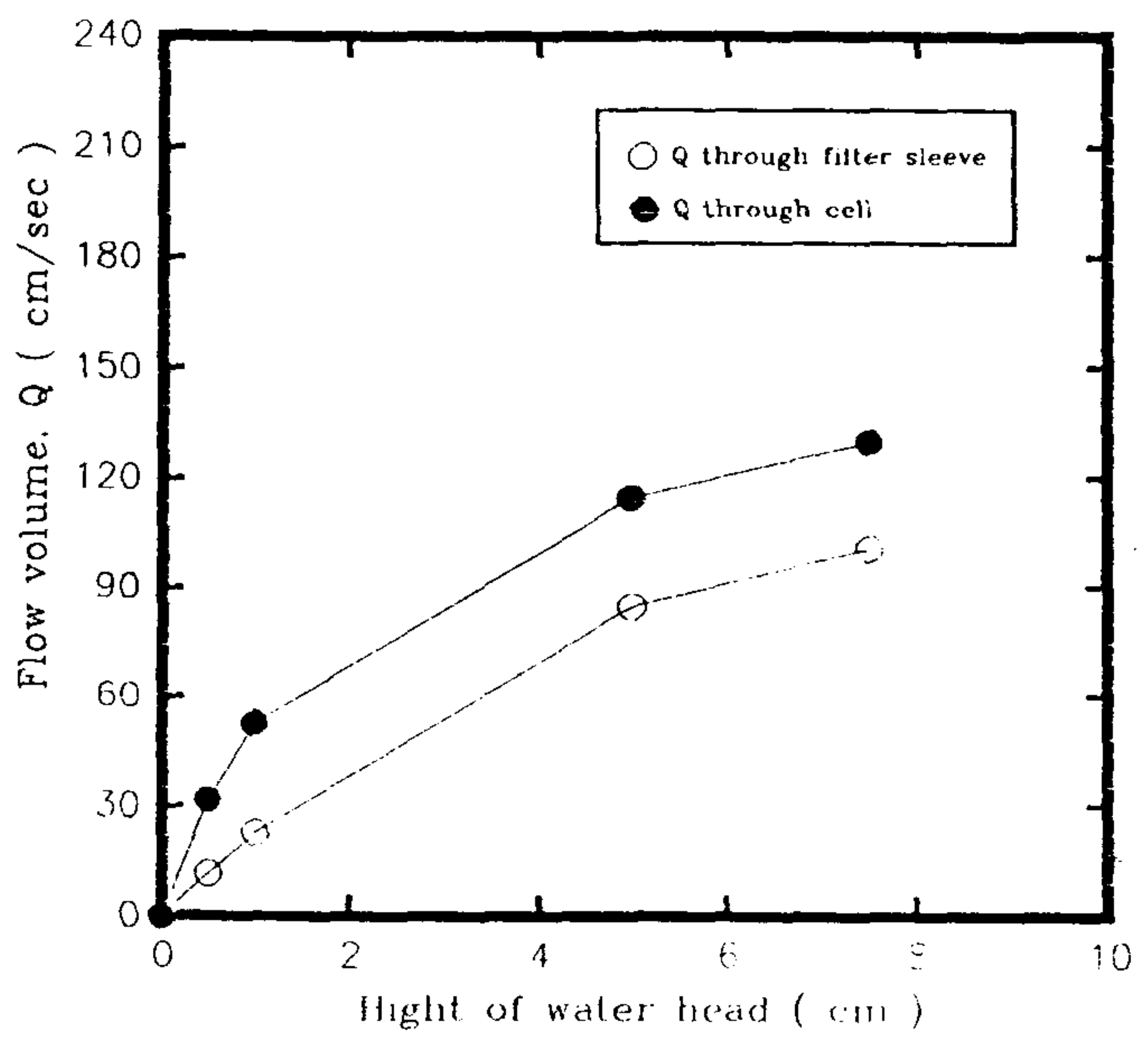


그림-4 투수장치와 필터 슬리브의 통수량 비교표

투수시험을 수두차 ΔH 를 0.5cm~7cm 범위에서 4단계 실시하였다. Reynold 수로서 물의 흐름상태를 검토한 결과 시험에 대상으로 한 수두차에서 PD재 내부의 흐름은 층류상태를 유지하였다. 그림-5에는 수두차 ΔH 와 필터 슬리브의 투수계수 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 ΔH 가 커짐에 따라 흐름상태가 불완전 해지고 $\Delta H=7.5\text{cm}$ 에 있어서 투수계수는 $1 \times 10^{-1} \sim 2.3 \times 10^{-1} \text{ cm/sec}$ 의 값을 나타내고 있다.

이 값은 저습답의 투수계수치 $10^{-5} \sim 10^{-9} \text{ cm/sec}$ 에 비해서는 수만배 이상 큰 것이므로 배수성능을 유지하는데는 문제가 없으나 clogging현상 및 PD재의 열화현상 등이 발생한 후의 투수계수를 확인하여 저습답 토양의 투수계수와 상호 비교하는 것이 필요하다. 이에 관한 연구는 2, 3차 년도에 지속적으로 실시할 예정이다.

필터 슬리브(filter sleeve)의 투수계수 시험에 있어서, 실내시험에서는 filter sleeve를 완전 포화시켜서 공기를 제거한 후 실험하는데 비해 실제의 경우에는 PD재가 타설될 시에는 건조된 상태이므로 실내시험과 현장시공이 상이하다.

이로 인해 생기는 차이를 규명하기 위해 국외제품인 MW의 filter sleeve를 습식과 건식의 조건에서 시험을 실시하고 그에 대한 고찰을 실시했다.

Filter sleeve의 습식조건은 시험장치에 셋트하기 전에 물속에 24시간 담귀서 충분히 포화시키고 세트후에도 표면의 공기(기포)를 제거한 상태이며 건식 조건은 공기 건조된 filter sleeve를 시험장치에 세트하고 표면부의 공기(기포)를 제거하지 않은 상태에서 통수시험을 실시했다.

그림-6에는 습식과 건식의 투수계수 경시변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 초기에는 습식이 건식보다 높은 투수계수를 나타냈으나 시간이 경과해 통수 후 약 3000분 후에는 건식이 습식보다 약간 높아졌으나 2조건이 거의 비슷한 값을 나타낸다고 할 수 있다. 이는 본 실험에서는 다량의 물이 소요되기 때문에 수도수를 이용하였다. 따라서 수도물 속에 용존된 철분등에 의한 clogging현상이 나타났다.

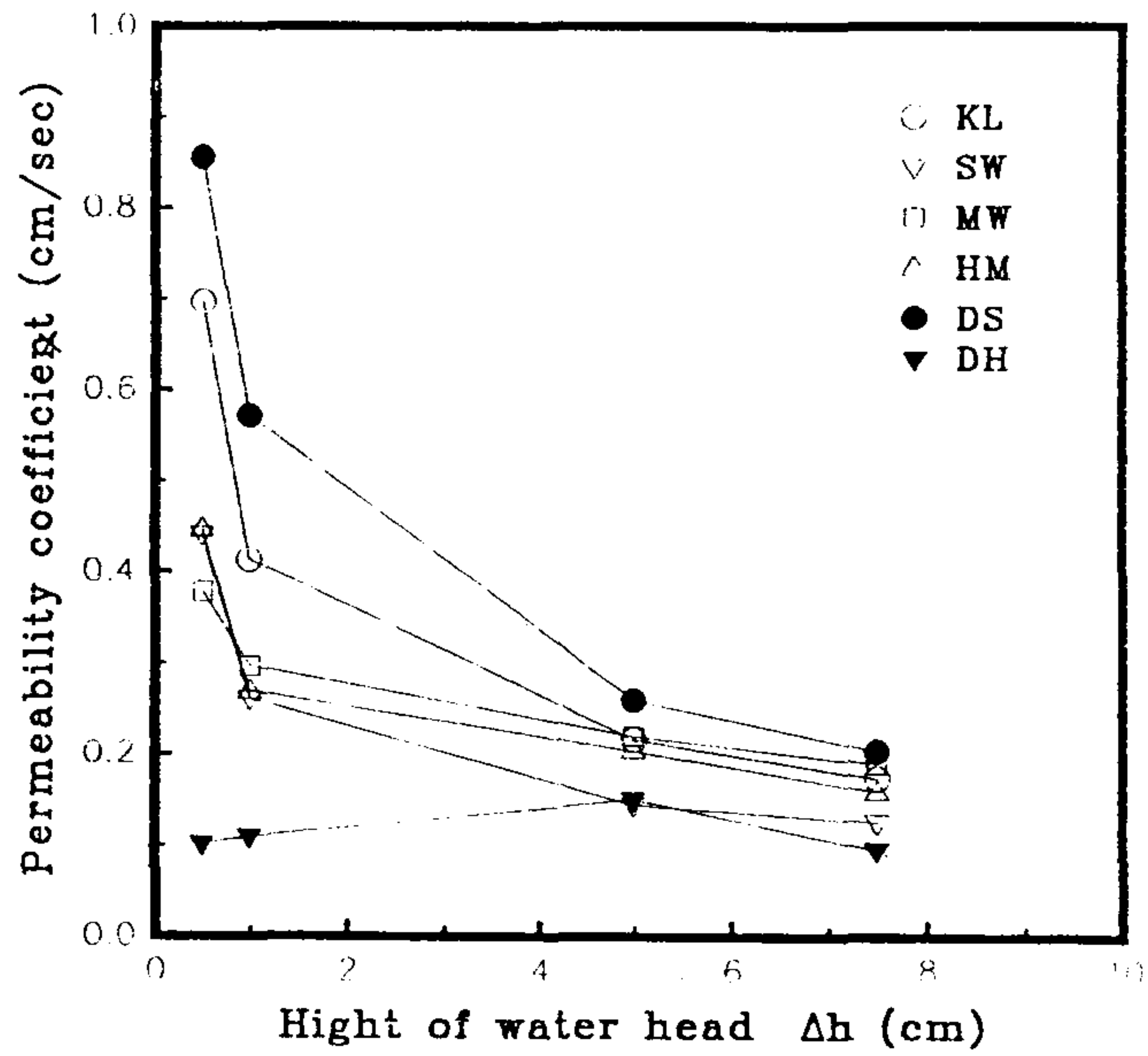


그림-5 수두차 Δh 와 필터 슬리브의 투수계수의 관계

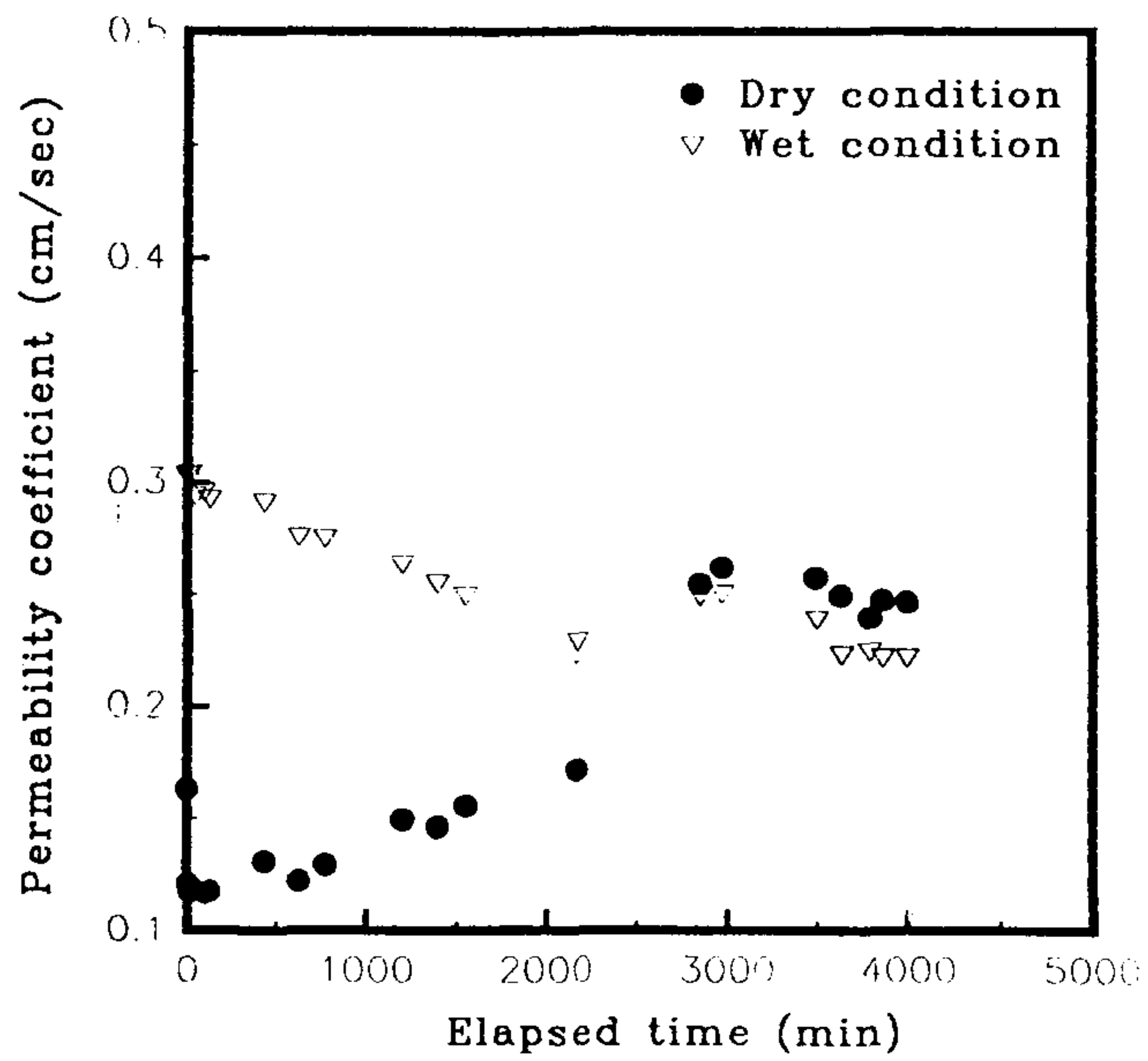


그림-6 습식과 건식의 투수계수 경시변화

실험을 끝낸 후 filter sleeve의 표면에 묻은 잔류물을 살펴보면 습식이 건식 보다 많았으며 습식은 전표면에 골고루 묻었으나 건식은 특정부분만이 묻은 것으로 보아 이는 기포의 영향으로 물이 filter sleeve를 통과하지 못한 경우에는 clogging현상이 발생하지 않았고, 많이 묻은 부분과 적게 묻은 부분의 차이는 물이 투과되기 시작한 시간의 차이를 나타낸 것으로 보인다.

또 국내제품인 DH를 이용하여 수도물 속에 포함된 철분을 여과하고 깨끗한 물로 투과한 filter sleeve에 대한 실험결과를 그림-7에 나타낸다. 실험을 끝낸후 필터 슬리브의 표면에 묻은 잔류물은 눈으로는 거의 식별할 수 없었다. filter sleeve의 투수시험에서는 초기의 투수계수는 습식이 건식보다 높지만 시간의 경과에 따라서 건식이 습식보다 높은 경향을 나타내고 있으며 전체적으로 투수계수가 저하되는 것은 수분함유에 의한 filter sleeve의 열화현상으로 보여진다.

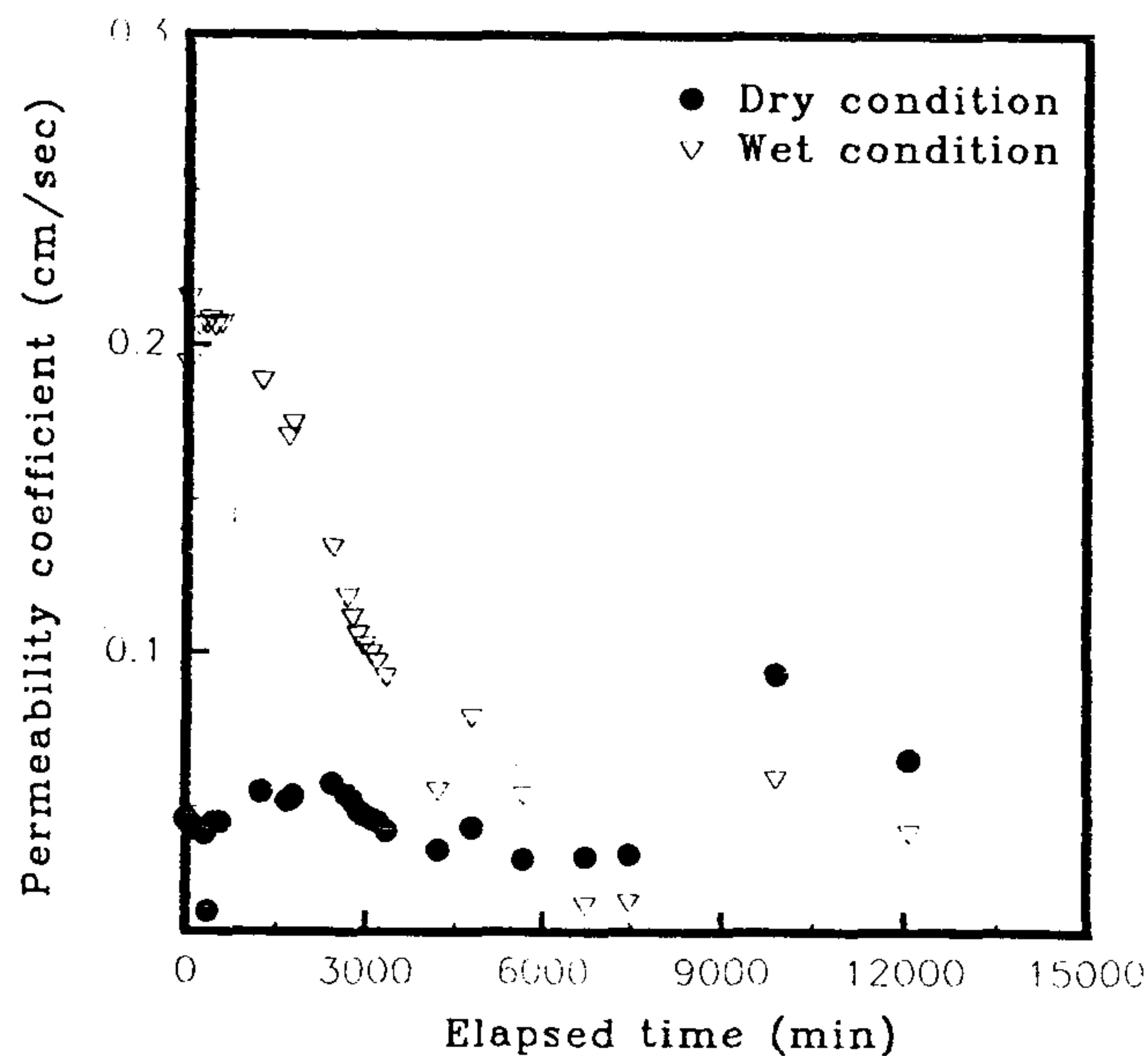


그림-7 철분 영향이 없는 경우의 습식과 건식의 투수계수 비교

나. 드레인 설치장비 고안·제작

PD재를 저습답의 지하에 수평으로 타설하여 원활한 배수개선을 하기 위해서 농민이 직접 간단하게 경제적으로 타설 할 수 있는 장비를 고안·제작 하였다. 그림-8에는 드레인 설치장비의 평면도와 측면도를 나타냈다.

드레인 설치장비의 규모는 $B \times L \times H = 70 \times 230 \times 20\text{cm}$ 이며, 현재 농민에게 보급율이 높은 $B \times L \times H = 150 \times 330 \times 210\text{cm}$ 에 트랙터(35HP)에 의해 견인되게 하였다. 트랙터는 정부에서 지원된 대동 4000 L3503형을 이용하였다. 사진-1은 트랙터에 장착된 드레인 설치장치를 나타낸다.

트랙터의 기어는 1단~8단으로 된 전륜구동형이며 PD의 타설속도는 1단으로 주행할 경우는 속도가 2km/h이므로 이 속도에 맞춘다. 2련의 PD재의 타설 유도관(사진-2의 ①, $L=110\text{cm}$, $t=3.2\text{cm}$)은 앞쪽에 길이가 다른 3개의 쟁기(사진 2의 ②, $b \times t \times (h_1, h_2, h_3)=7 \times 15 \times (20, 30, 50\text{cm})$)를 장착하여 쟁기에 의한 지반굴착으로 타설유도관의 끝이 소정의 깊이(최대심도 50cm)까지 용이하게 관입되어 PD 재를 수평으로 타설 할 수 있도록 하였다. 타설깊이가 얇은 경우는 제일 긴 쟁기는 떼어내고 운행하면 되도록 하였다. 사진-3에서 보는 바와 같이 PD재는 2련으로 동시에 타설 할 수 있게 하였다.

드레인 설치장비의 깊이 조절은 트랙터의 7단계로 된 위치제어기능으로 가능하며 2열의 간격은 핸들조작에 의하여 70cm~10cm로 조절이 가능하도록 하였다. PD재(1롤의 길이 200m)는 드레인 설치장비 위에 2개의 원형관(사진-1의 ①)속에 장착시켜 사진-4에서 보는 바와 같이 로드텐션 기능이 부착된 1, 2차 PD견인구(사진-4 의 ①, ②)를 통하여 PD 유도관 속으로 연결되며, PD견인구의 작동은 사진-3의 ①에 보이는 주행거리 만큼 PD재를 배출 시킬 수 있는 로터리($d=23\text{cm}$, 날개 2cm 두께 \times 한면에 10개)의 힘을 받아 체인을 통하여 움직이게 하였으며, PD견인구의 간격조정은 핸들(사진-4의 ③)의 조작에 이용하여 가능하게 하였다.

사진-5는 지표면 부근에 PD재를 직접 설치하는 전경을 나타냈다. 사진-6은 PD 유도관에서 PD재를 직접 설치하는 전경을 나타냈다. 사진-6에서 보는 바

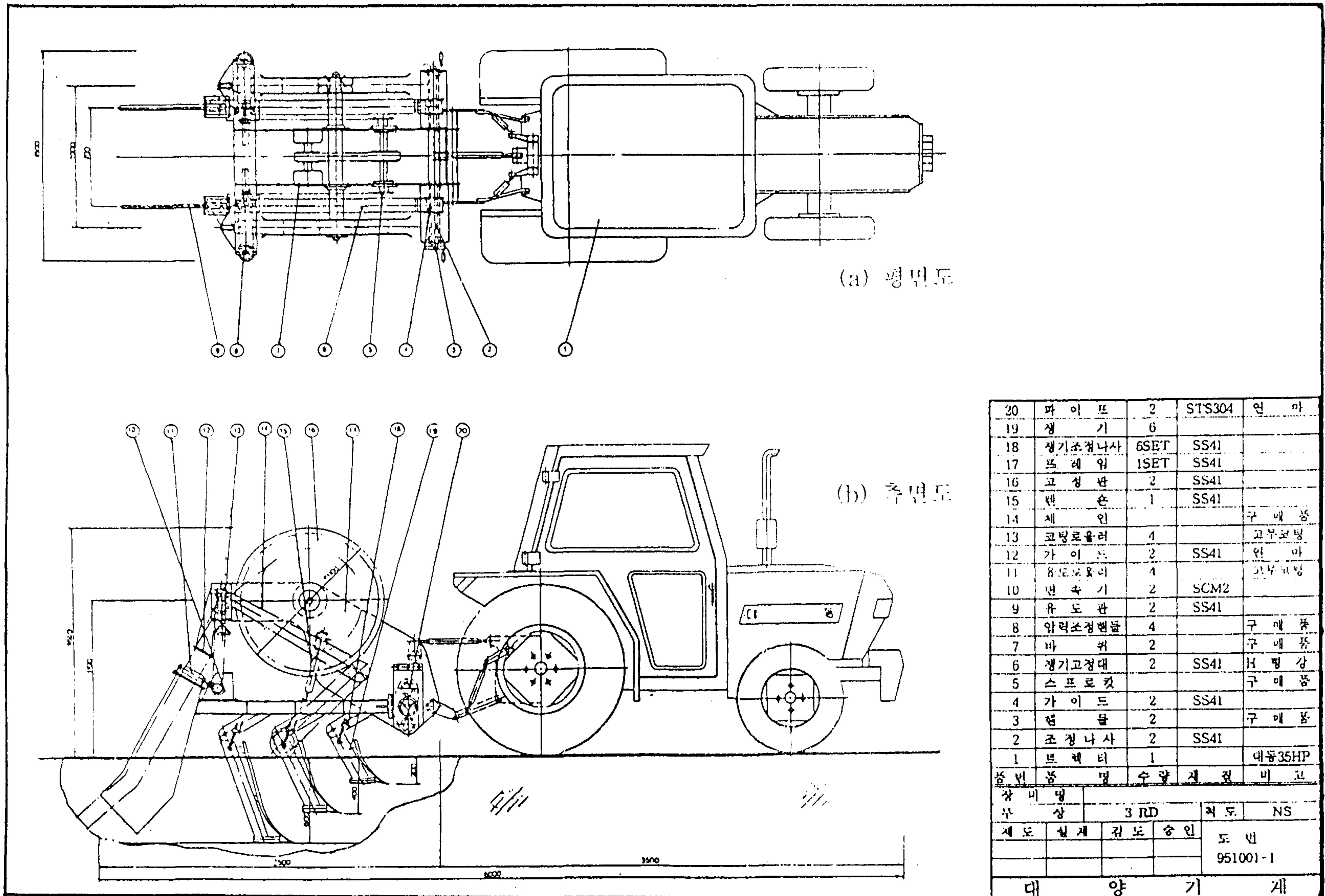


그림-8 드레인 설치 장비 개략도



사진-1 트랙터에 장착된 드레인 설치장비

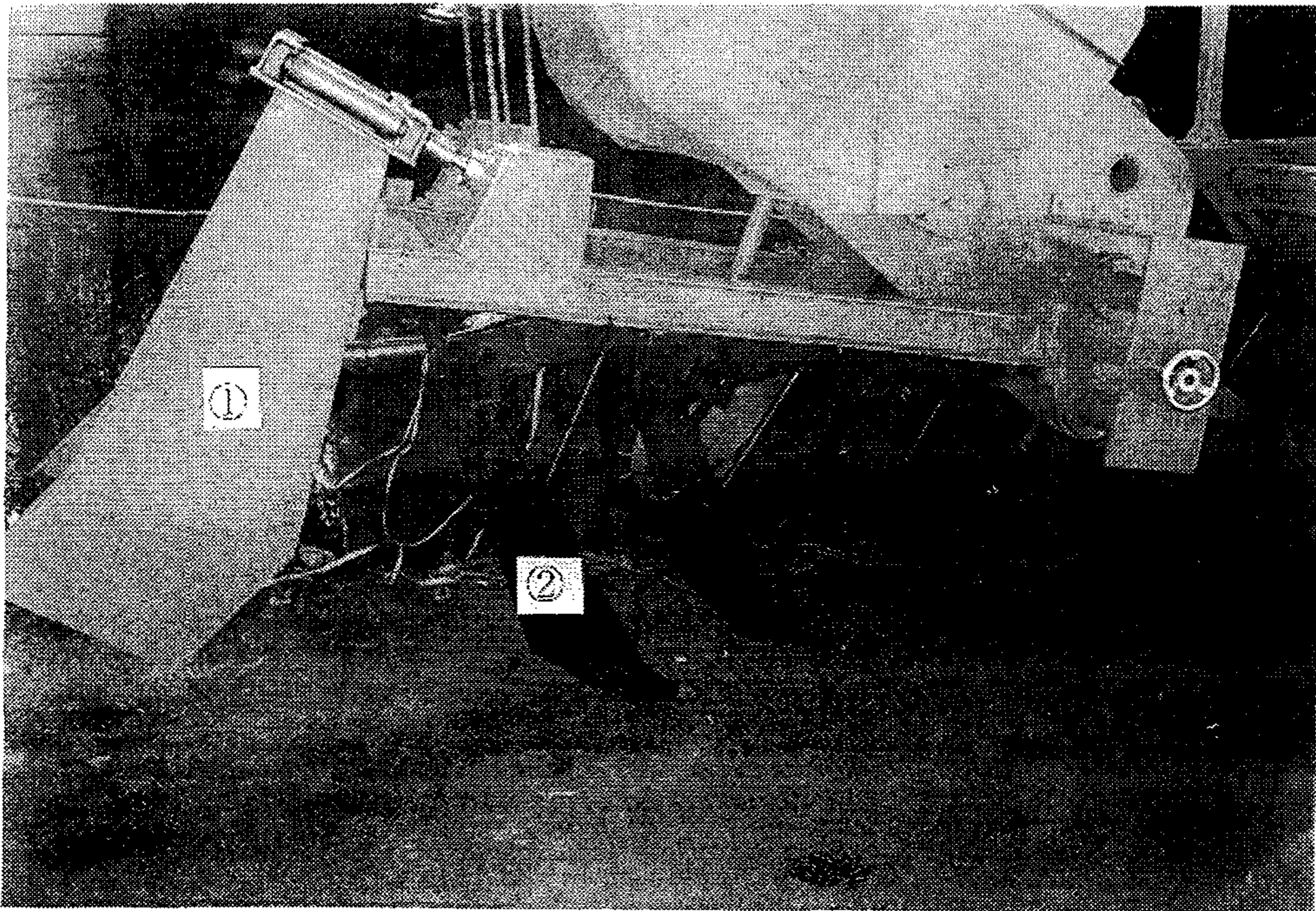


사진-2 드레인 설치장비의 측면 전경

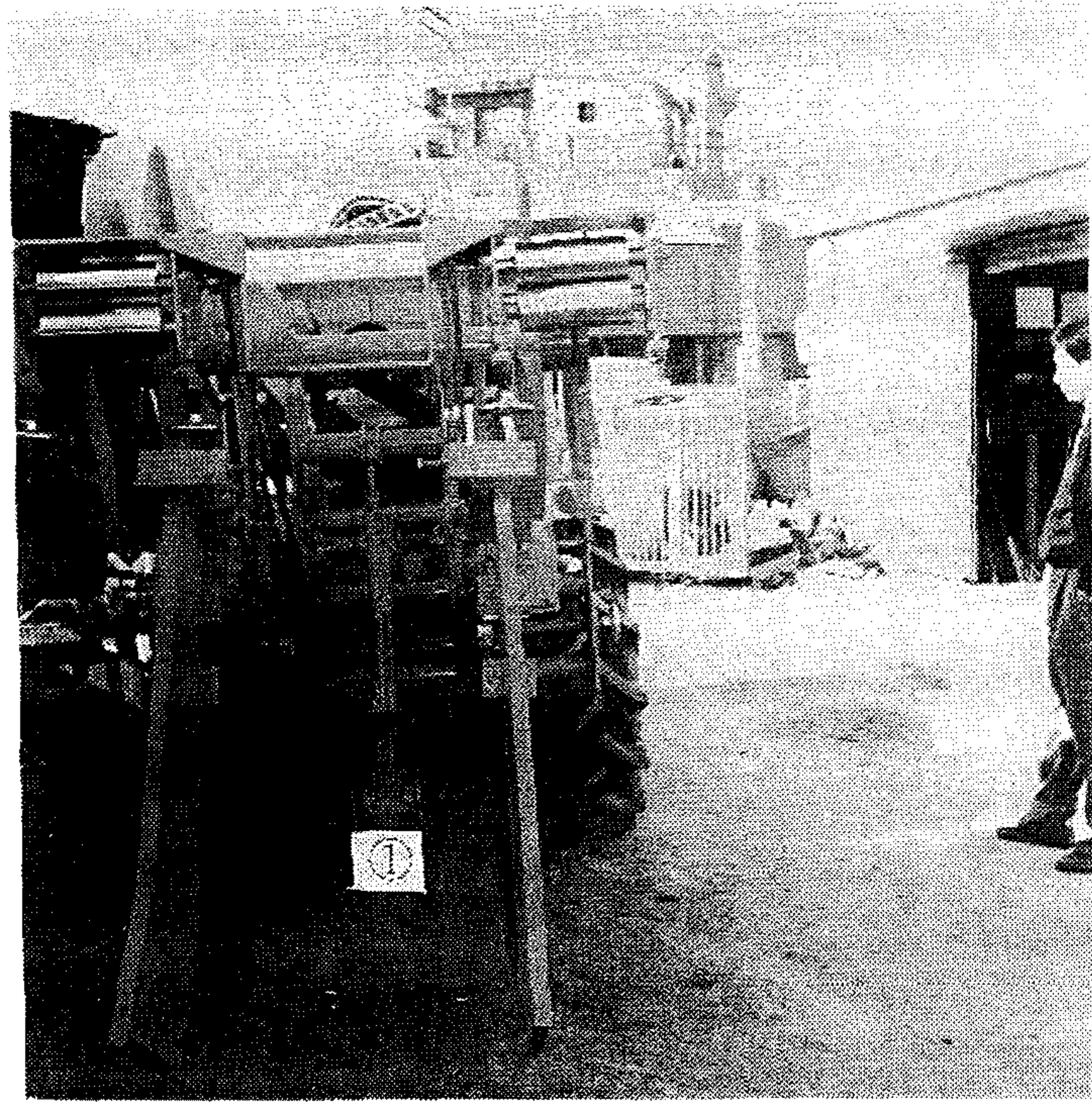


사진-3 드레인 설치장비의 배면전경

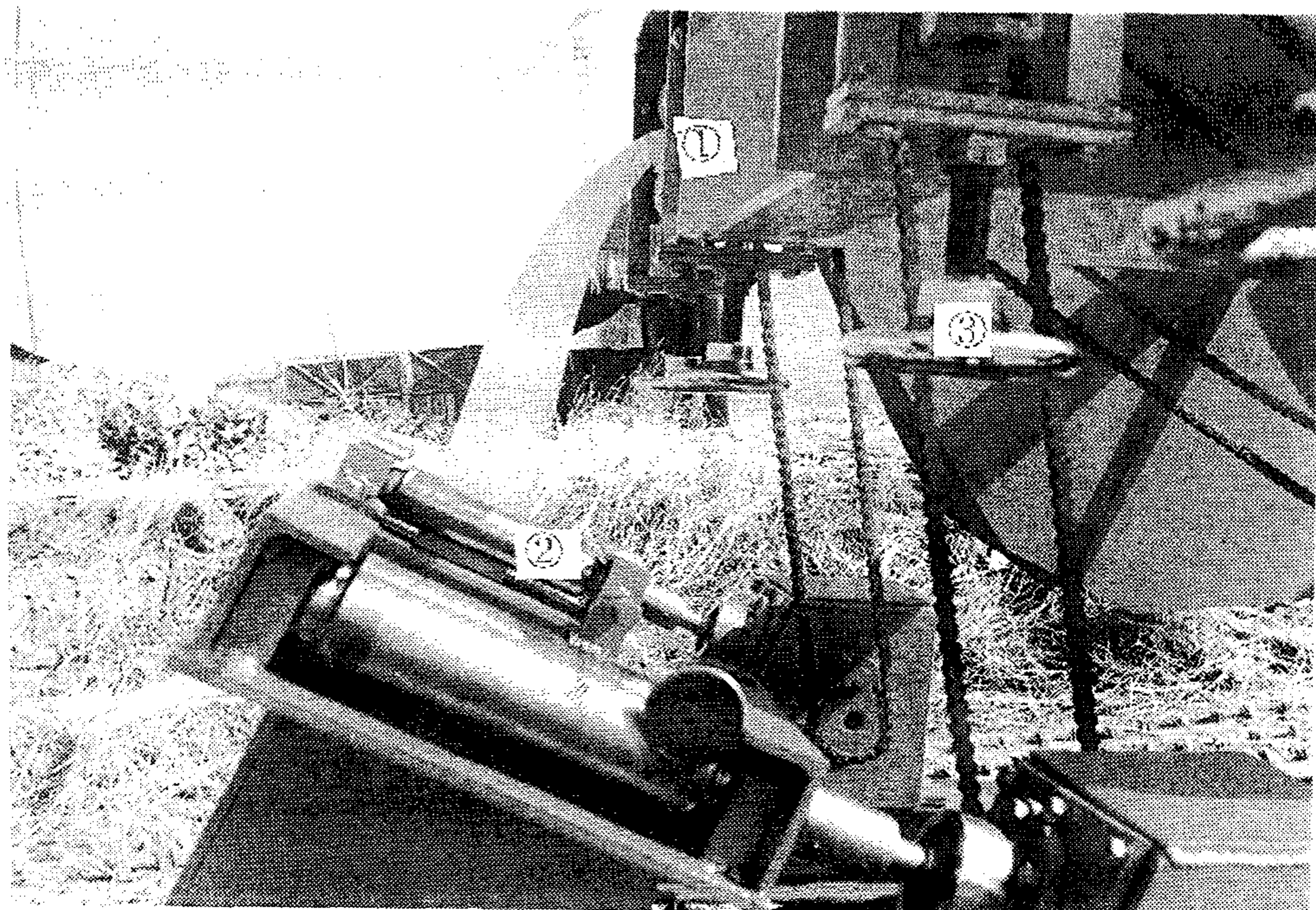


사진-4 PD견인구 전경



사진-5 드레인 설치장비에 의한 PD재 타설 전경

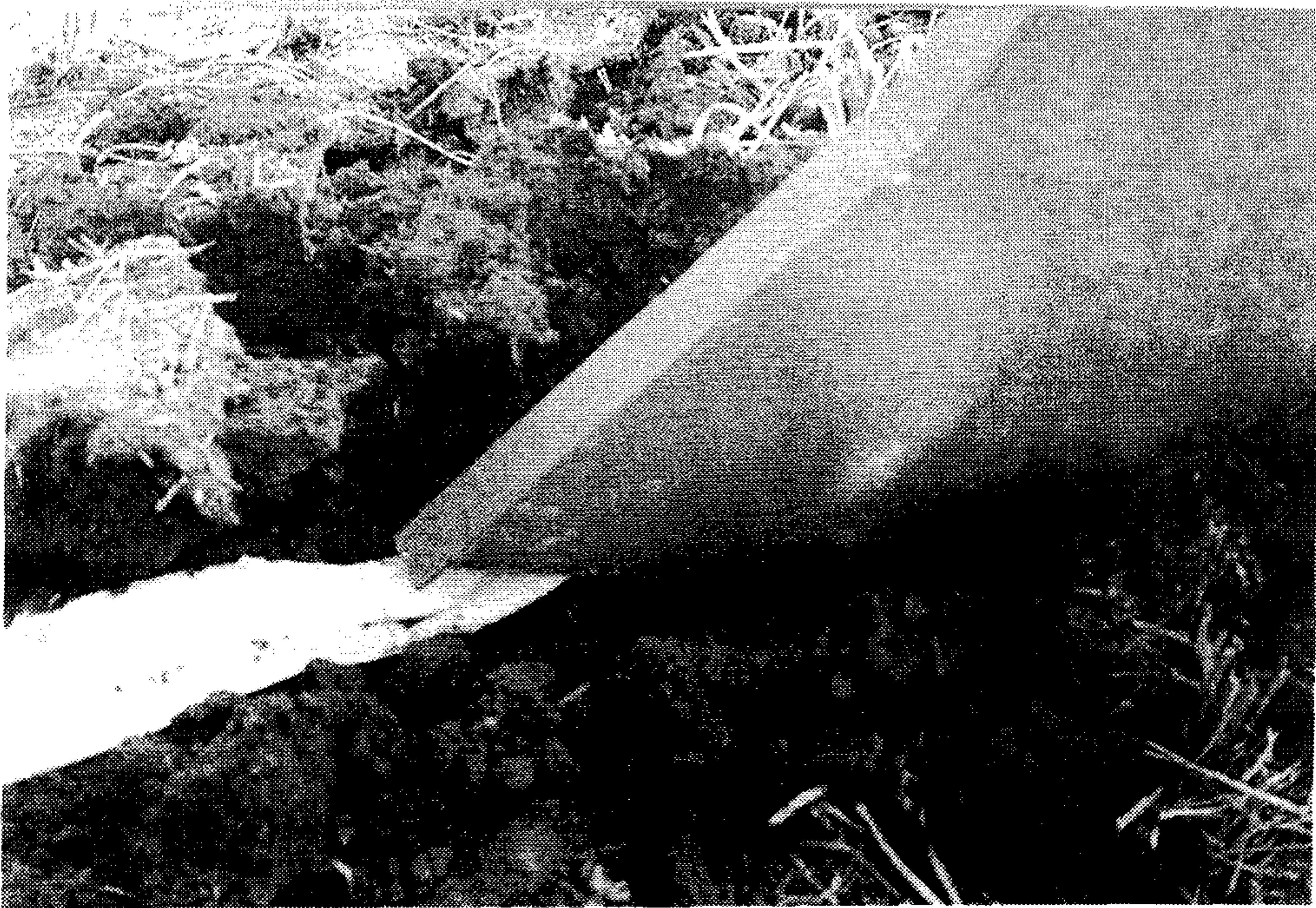


사진-6 PD재 유도관 끝단과 배출된 PD재

와 같이 유도관에서 배출될때 PD재의 filter sleeve가 찢어지는 등의 결점이 발생하므로 유도관의 경사를 더욱 완만하게 조정할 필요가 있으며, 유도관 끝에는 볼 베어링을 삽입하여 유도관과 PD재의 마찰력을 최소화 시켜야 하며, 2본의 PD재를 동시에 타설 할 경우 트랙터의 견인능력이 부족하여 앞바퀴가 공회전 하는 문제 등이 발생하여 트랙터의 규모를 키우는 방안과 1련으로 PD재를 타설하는 방안을 동시에 강구하여 효율적인 PD타설이 가능하게 할 예정이다.

또한 각 부분의 힘의 균형이 맞지 않는 등 장치를 고안·제작된 그대로 현장에 적용하는데는 문제가 있으며 추가적으로 미비점을 보완해야 할 필요가 있다. 앞으로 이 장비를 간척 매립 저습지 등의 초연약 지반에 이용 할 경우에는 트랙터 바퀴수의 증가 등으로 접지압을 줄여 주어야 하는 문제점이 있으며, 원형 PD재를 사용 할 경우는 유도관 및 PD 견인구, 롤 장착장치 등의 형상을 변경 해 주어야 하므로 2차년도(1996)에도 지속적인 미비점 보완을 실시하여 완벽하게 드레인재가 타설 될 수 있는 장비로 만들 예정이다.

다. Core재의 통수능력시험 결과

PD재를 수평으로 타설하여 저습답의 배수개선을 실시함에 있어서 PD재 내부에서는 간극수의 흐름에 대한 저항, 즉 웰 레지스턴스(well resistance)등의 영향이 작용하게 되므로 이들의 영향을 고려한 1본의 PD재 길이의 산정과 현장조건에 적합한 동수구배 및 측압 조건하에서 시험을 실시할 필요가 있다.

이와 같은 시험을 실시하기 위하여 그림-9에 나타낸 대형 코어 통수능력 시험장치(A×B×H=1.0×2.0×0.5m)를 이용하였다. 이 장치는 지금까지 국내외에서 실내시험으로 적용한 예가 없는 실물길이의 PD재를 이용하여 통수능력을 직접 산정하기 위하여 중앙부에 직경 1m의 PD지지대가 장착되어 있으며 PD재를 이 지지대에 1회전시키면 3.14m가 되므로 길이 50m까지의 PD재의 통수능력시험을 직접 실시할 수 있게 되었다(사진-7 참조).

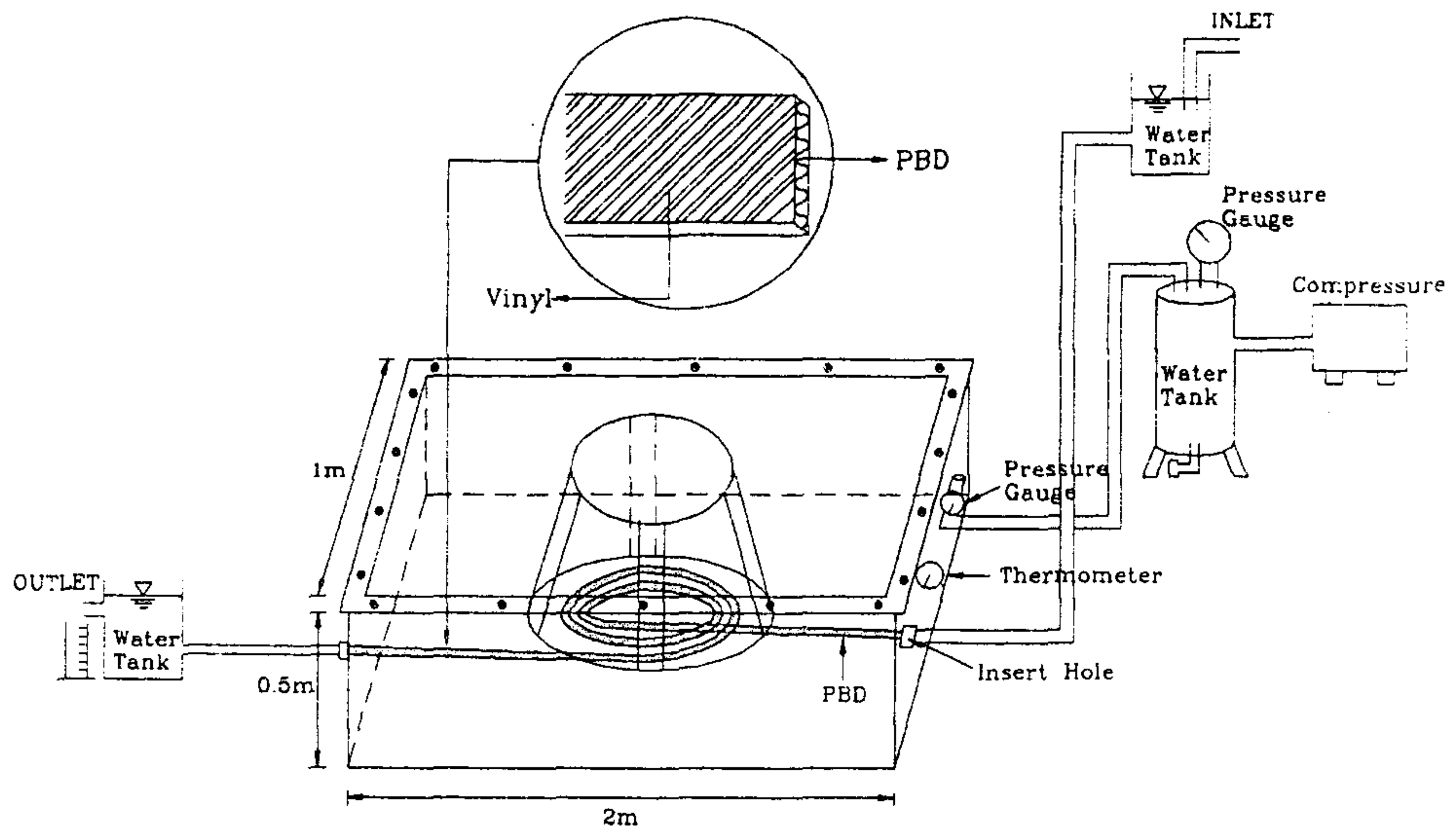


그림-9 대형 코어재 통수능력 시험장치

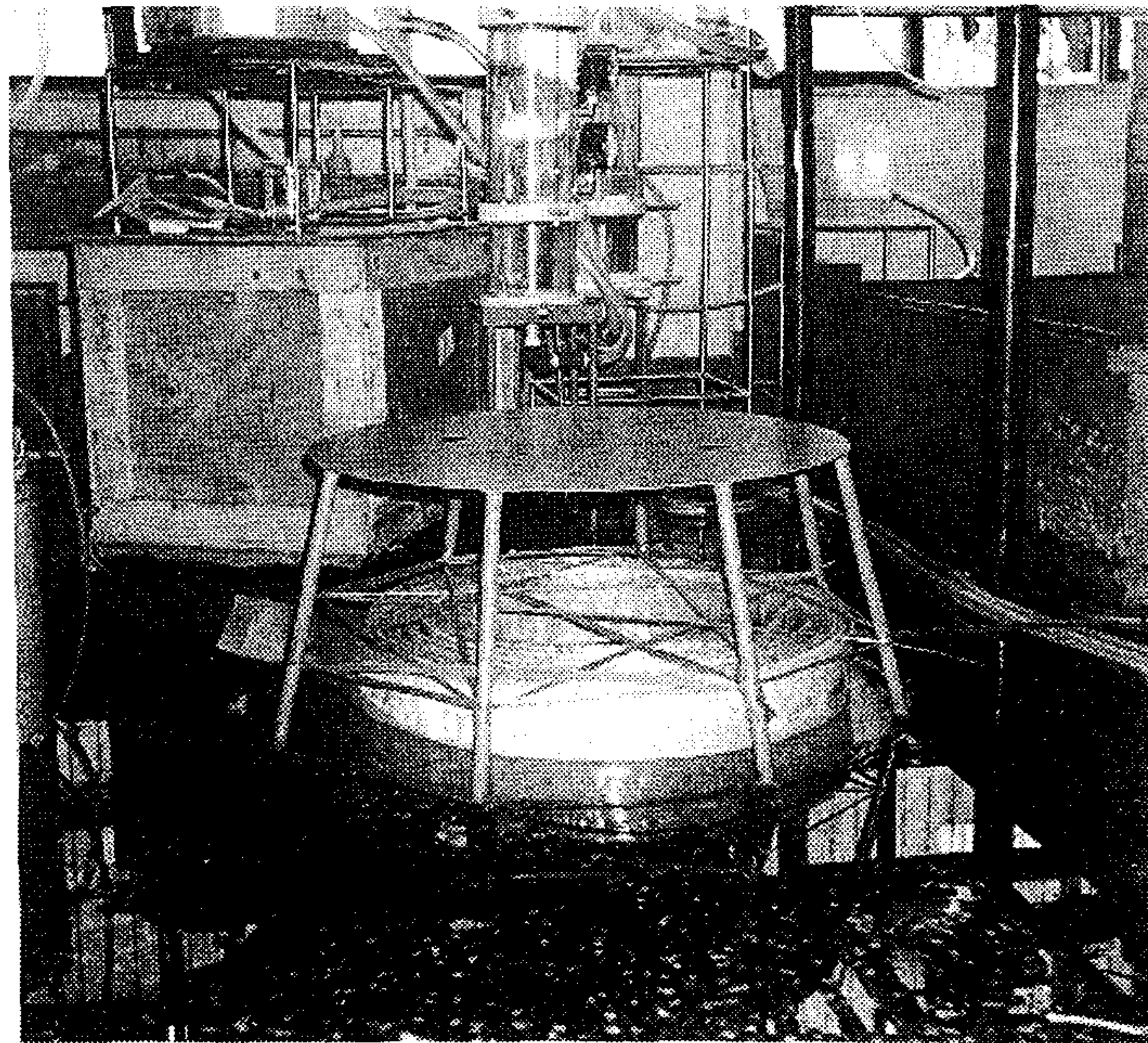


사진-7 PD지지대에 PD를 감은 전경

통수능력시험은 정수위 시험법을 이용하여 실시하였으며, 유출·입수조는 ($A \times B \times H = 0.3 \times 0.3 \times 0.3\text{m}$)크기로 하였고 연결호스는 $\phi = 3\text{cm}$ 를 사용하였다.

유출입 수조에 의해 동수구배를 자유로이 조절할 수 있게 하기 위하여 지지대를 만들었다. PD재에 가해지는 측압은 compressure를 압력수조에 연결시켜 수도수를 이용하여 가해지도록 하였으며, 압력은 regulator를 이용하여 조절하였다.

실험은 PD재의 길이를 2m, 10m, 20m, 30m, 50m의 5조건으로 하였고 동수구배는 현장범위인 0.005~0.015의 범위에서 실시하였으며, 측압은 0.2kgf/cm^2 , 0.5kgf/cm^2 및 1.0kgf/cm^2 의 3종류에 대해서 실시했다. 표-4에는 실내시험을 실시한 각종 시험조건을 나타낸다.

호스와 PD재 간의 연결부는 측압에 의한 영향을 받지 않게 고무밴드 등으로 밀봉하였으며, PD재 주위는 측압전달이 가능하며, 측압수가 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 일정해지기를 기다렸다가 통수능력을 측정하였다. 통수량을 측정하기 위한 준비단계에서는 PD재를 통과한 유량속에 공기(기포)의 발생이 생겼다가 약 2시간 후에 완전히 배제되었으므로 2시간 통수개시 후에 측정을 실시하였다.

결과치를 얻기 위한 통수량 측정은 눈금이 새겨진 1,000cc 용량의 매니스커스를 이용하였으며 측정된 유량은 온도에 따른 점성보정을 실시하여 15°C 의 통수량으로 환산하였다.

그림-10에는 core의 통수능력 산정을 위한 흐름도를 나타냈다. 그림-11에는 동수구배 $i=0.005$ 인 조건에서 측압의 변화에 따른 통수능력(discharge capacity, $Q_w = \text{단위 통수량 } Q / \text{동수구배 } i$)의 변화를 플롯트한 시험 결과를 나타냈다. 측압 0.2kgf/cm^2 에서의 통수능력은 길이에 따라 다르지만 $235 \sim 290\text{cm}^3/\text{sec}$ 의 값을 나타냈으나 측압이 1.0kgf/cm^2 로 증가함에 따라 $200 \sim 230\text{cm}^3/\text{sec}$ 로 저하함을 나타냈다. 측압증가에 따른 통수능력의 저하는 측압에

표-4 통수능력 시험 실시조건

lateral Pressure	i	2m	10m	20m	30m	50m
0.2 kg/cm ²	0.005	○	○	○	○	○
	0.010	○	○	○	○	○
	0.015	○	○	○	○	○
	0.05	○	○	○	×	×
	0.1	○	○	○	×	×
	0.5	○	×	×	×	×
	1.0	○	×	×	×	×
0.5 kg/cm ²	0.005	○	○	○	×	×
	0.01	○	○	○	×	×
	0.015	○	○	○	×	×
	0.05	○	○	○	×	×
	0.1	○	○	○	×	×
	0.5	○	×	×	×	×
	1.0	○	×	×	×	×
1.0 kg/cm ²	0.005	○	○	○	×	×
	0.01	○	○	○	×	×
	0.015	○	○	○	×	×
	0.05	○	○	○	×	×
	0.1	○	○	○	×	×
	0.5	○	×	×	×	×
	1.0	○	×	×	×	×

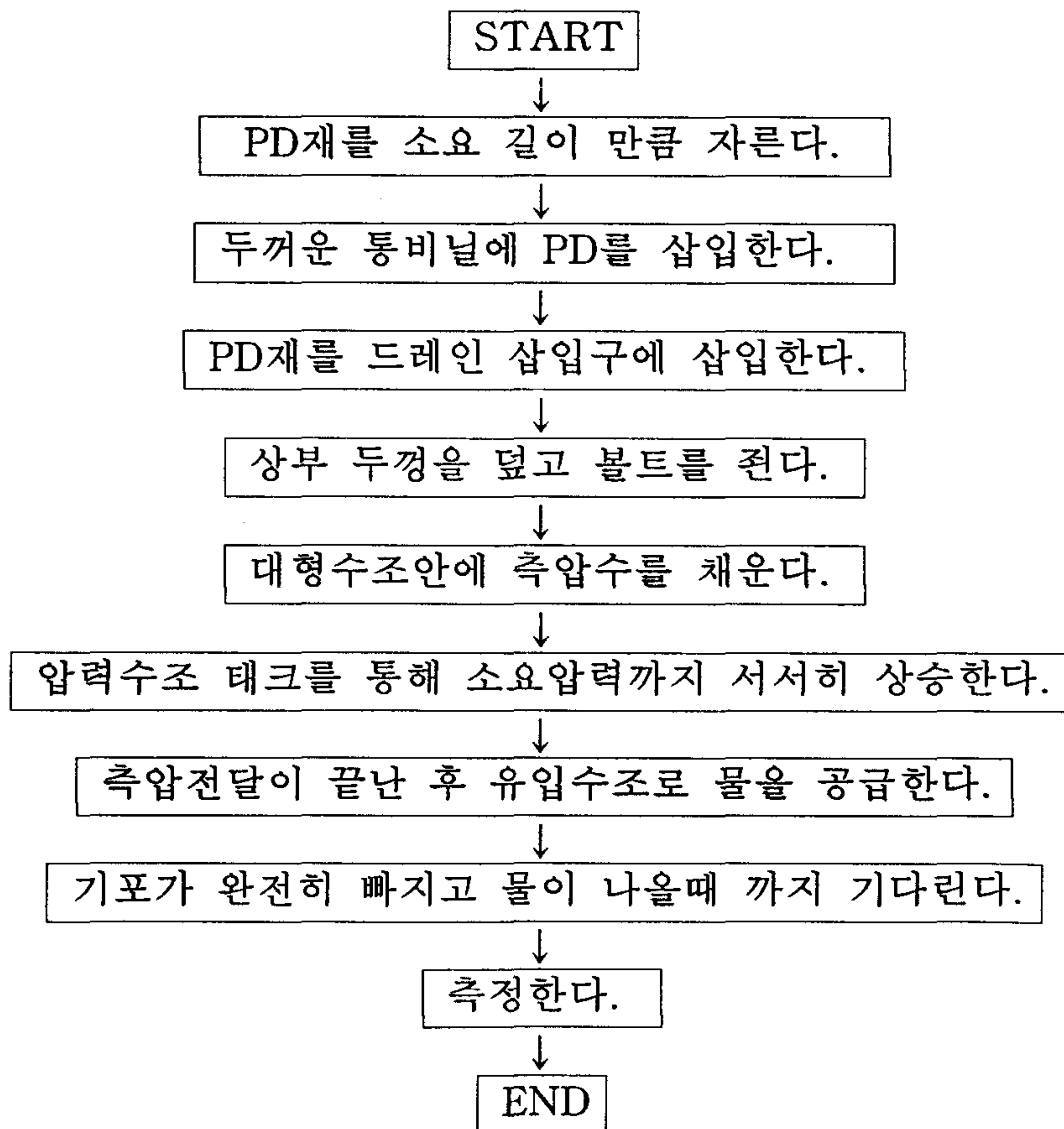


그림-10 코어의 통수능력 산정을 위한 흐름도

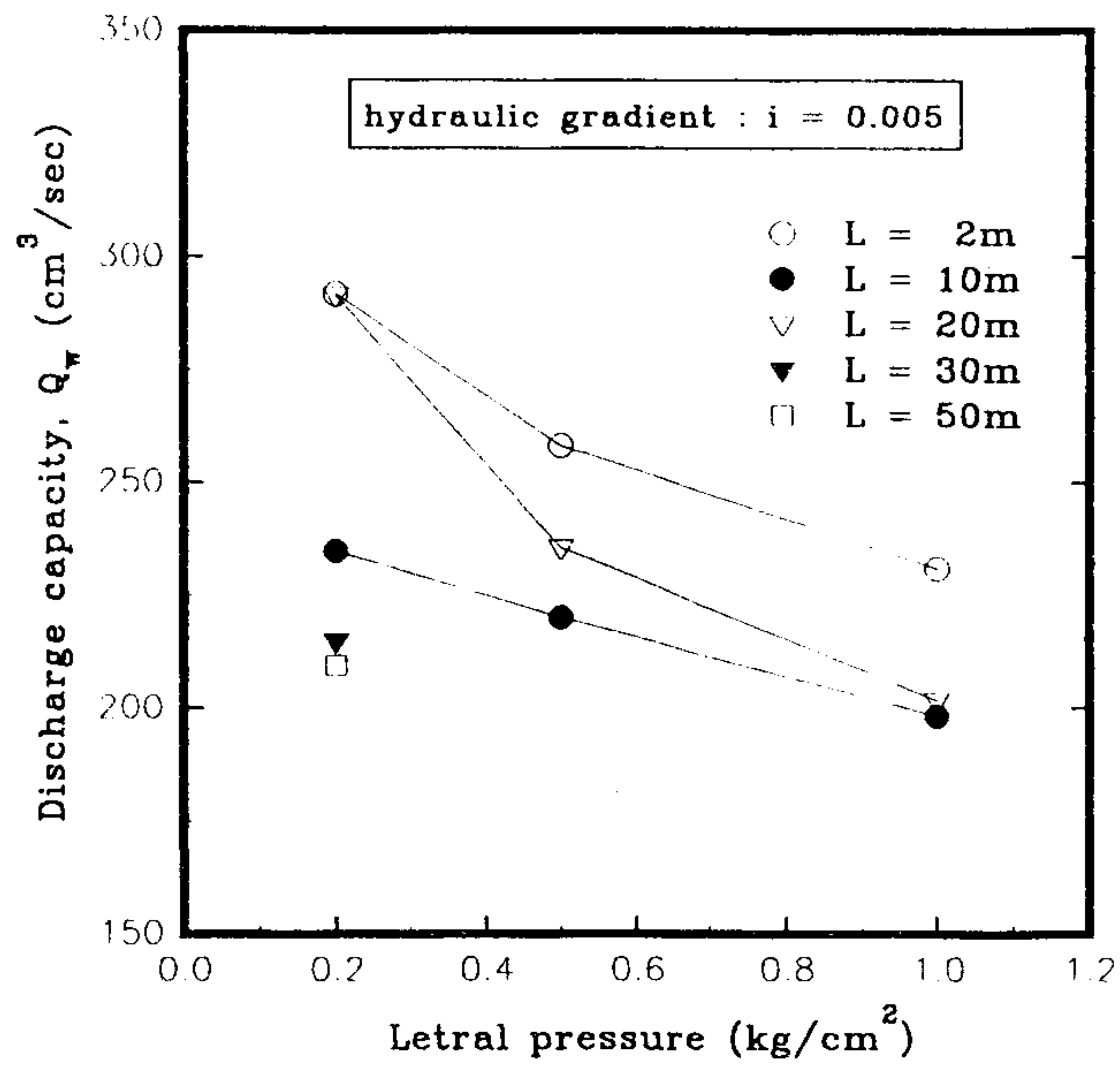


그림-11 측압변화에 따른 통수능력의 변화($i=0.005$)

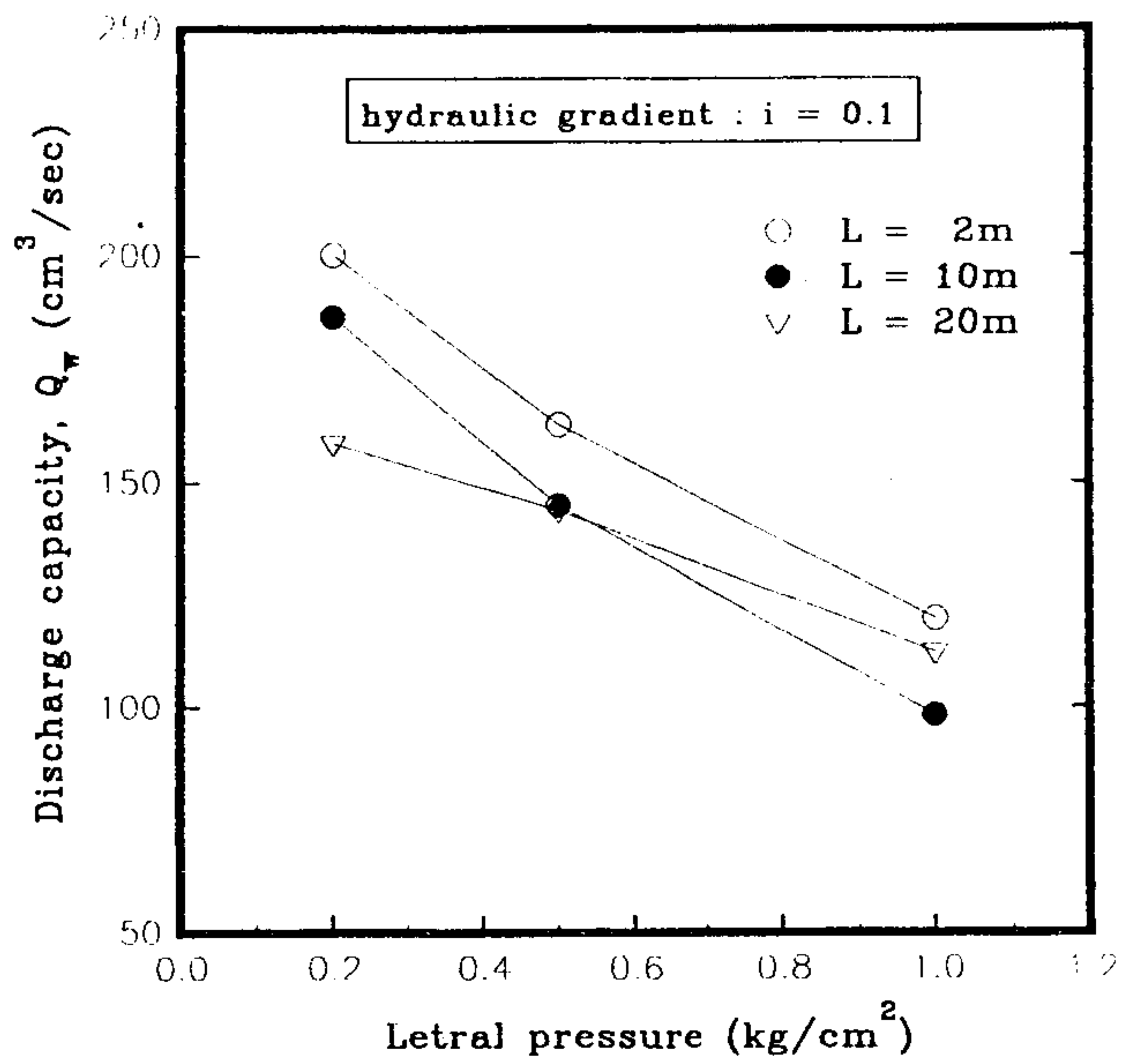


그림-12 측압변화에 따른 통수능력의 변화($i=0.1$)

의해서 유로 단면적이 감소하기 때문에 발생하며, core 및 filter sleeve의 재질에 따라 달라진다.

그림-12에는 동수구배 $i=0.1$ 의 조건에서의 측압변화에 따른 통수능력의 변화상태를 나타낸 것이다. 두 그림을 비교해 볼 때 동수구배가 클수록 측압증가에 따른 통수능력의 저하폭이 크게 나타났으며 이는 동수구배가 클 경우 PD재 내부의 흐름상태가 불완전함에 기인하는 현상이라 할 수 있다. 다른 동수구배 조건에서의 시험결과도 위에서 설명한 현상과 유사한 경향을 보였다.

그림-13, 14에는 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. 양 그림에서 동일 동수구배에 있어서 PD재의 길이가 증가됨에 따라서 통수능력이 저하됨을 알 수 있다. 길이의 증가에 따른 통수능력의 저하는 PD내부의 마찰손실수두가 증가함을 의미하고 있다. 식 (1)은 마찰손실수두의 산정식을 나타낸다.

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

여기서 Δh : 마찰손실수두

f : 마찰계수

d : PD재의 직경

n : 유로의 수

v : PD재 내부의 유속

측압 0.2kgf/cm^2 에 있어서 $i=0.01$ 인 경우 길이 $L=2\text{m}$ 에서 10m 로 변화함에 따라서는 통수능력이 크게 저하하는데 반하여 10m 로 부터 50m 로 증가함에 대한 통수능력의 저하가 적은 값을 나타내는 것이 주목된다.

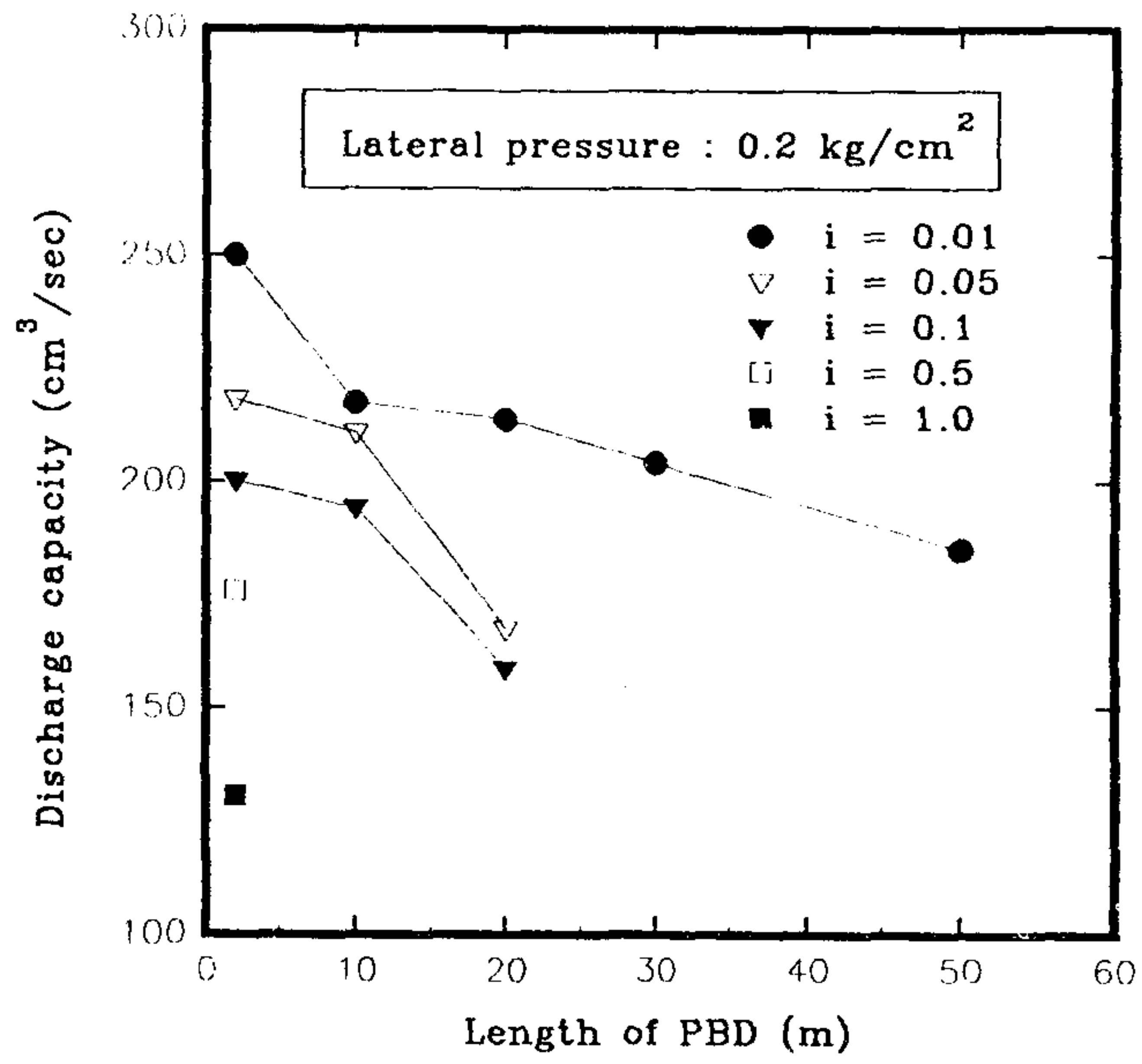


그림-13 PD재의 길이별 통수능력의 변화(측압:0.2kgf/cm²)

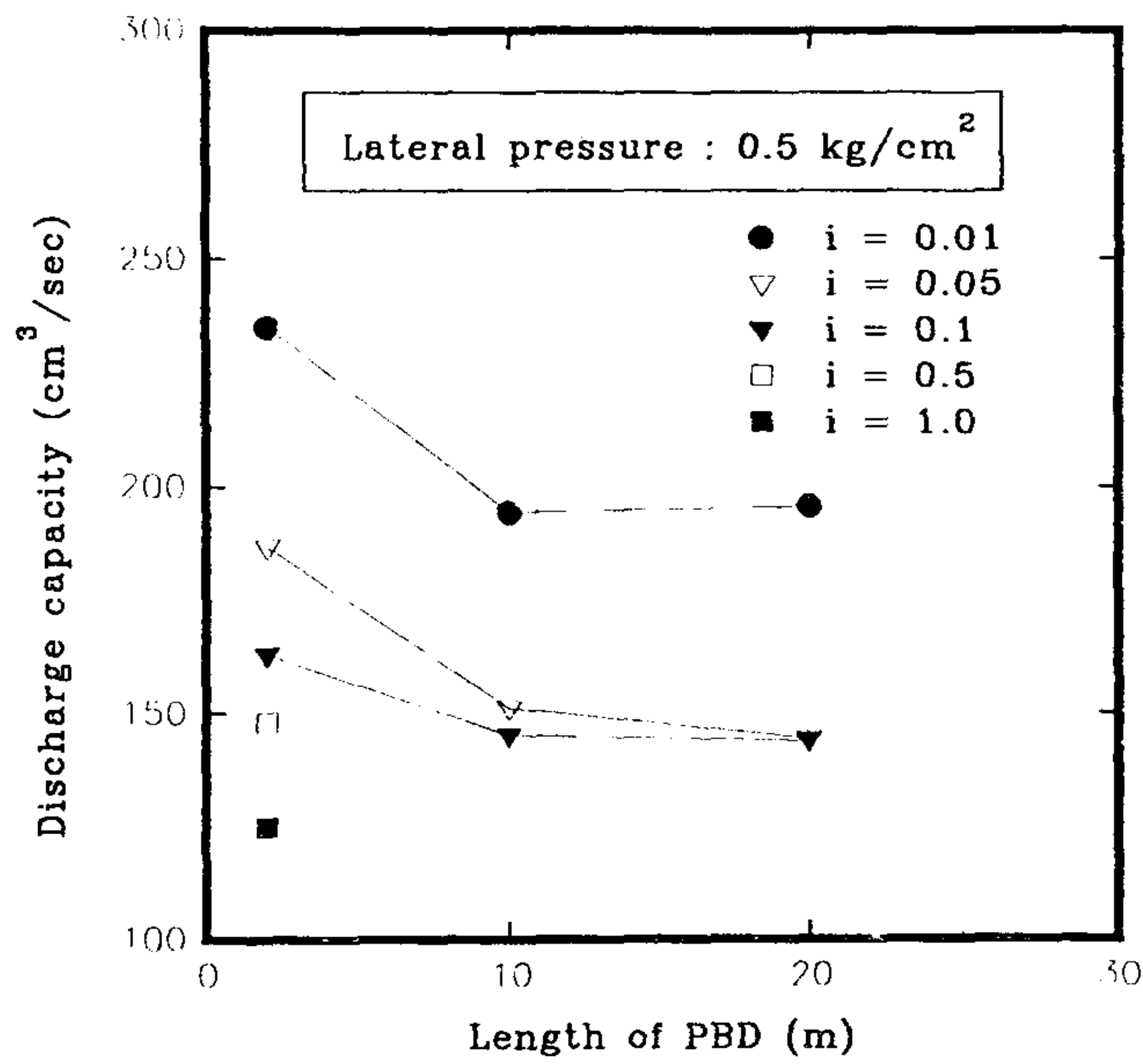


그림-14 PD재의 길이별 통수능력의 변화(측압:0.5kgf/cm²)

측압 0.5kgf/cm^2 에 있어서 동수구배 i 에 관계없이 측압 0.2kgf/cm^2 와 유사한 경향을 나타냈으며 길이 $L=10\text{m}$ 인 경우와 $L=20\text{m}$ 인 경우의 차이는 거의 없다.

지금까지 많은 연구자들에 의해 실시된 실내시험에 있어서는 PD재의 길이를 1m 이하로 하여 측압, 동수구배 및 PD재의 길이의 영향등을 거론하고 있으나 실물길이를 직접 이용한 본 시험결과 작은 L 에 대해서는 웰 레지스턴스의 변화현상이 커지만 현장에 타설될 수 있는 길이 조건에 대해서는 통수능력에 길이의 영향이 그다지 크지 않음을 나타냈다.

즉, 식 (1)에서 나타낸 것과 같이 L 에 대하여 1차원적으로 마찰손실수두가 증가된다는 현상을 PD재의 배수성능에 적용하는데는 문제가 있음을 나타낸다. 이에 관련된 구체적인 결과 및 이론적인 해석결과와 공식의 수정등은 다른 몇종의 PD재에 대한 실험을 추가로 실시한 후에 규명할 예정이다.

그림-15, 16은 PD재의 길이 $L=2\text{m}$ 와 20m 에 대하여 3조건의 측압 (0.2kgf/cm^2 , 0.5kgf/cm^2 , 1.0kgf/cm^2)상태에서 동수구배 i 의 변화에 따른 통수능력의 변화상태를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 동수구배가 i 가 0.1 이하의 범위에서는 동수구배의 증가에 따라 통수능력 Q_w 가 현격히 저하한다.

$i>0.1$ 의 범위에서는 0.5 까지는 층류상태를 유지하므로 Q_w 의 변화는 거의 없으나 $i=0.1$ 일때는 PD재 내부의 흐름이 불완전상태를 유지하므로 Q_w 가 약간 감소하는 경향을 나타냈다.

층류, 난류의 규명은 Reynolds수를 실시하였으며 Reynolds수를 구하는 공식은 식(2)에 나타낸다.

$$R_e = \frac{v \cdot d_w}{\nu} \quad (2)$$

여기서 v : 유속(cm/sec), d_w : PD재의 등치환산직경(cm), ν : 물의 동점성계수(cm^2/sec)이다.

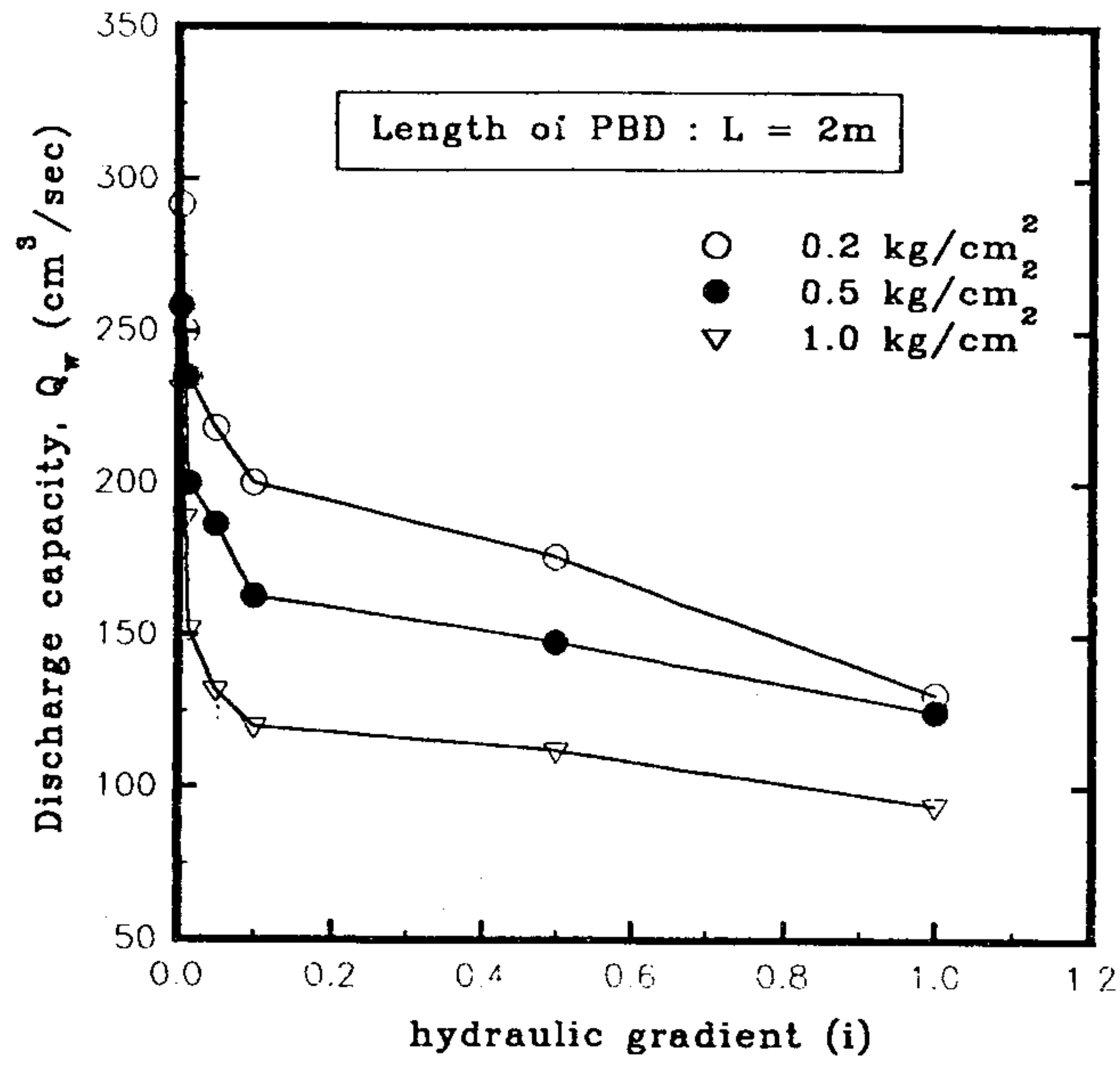


그림-15 동수구배에 따른 통수능력의 변화 (L=2m)

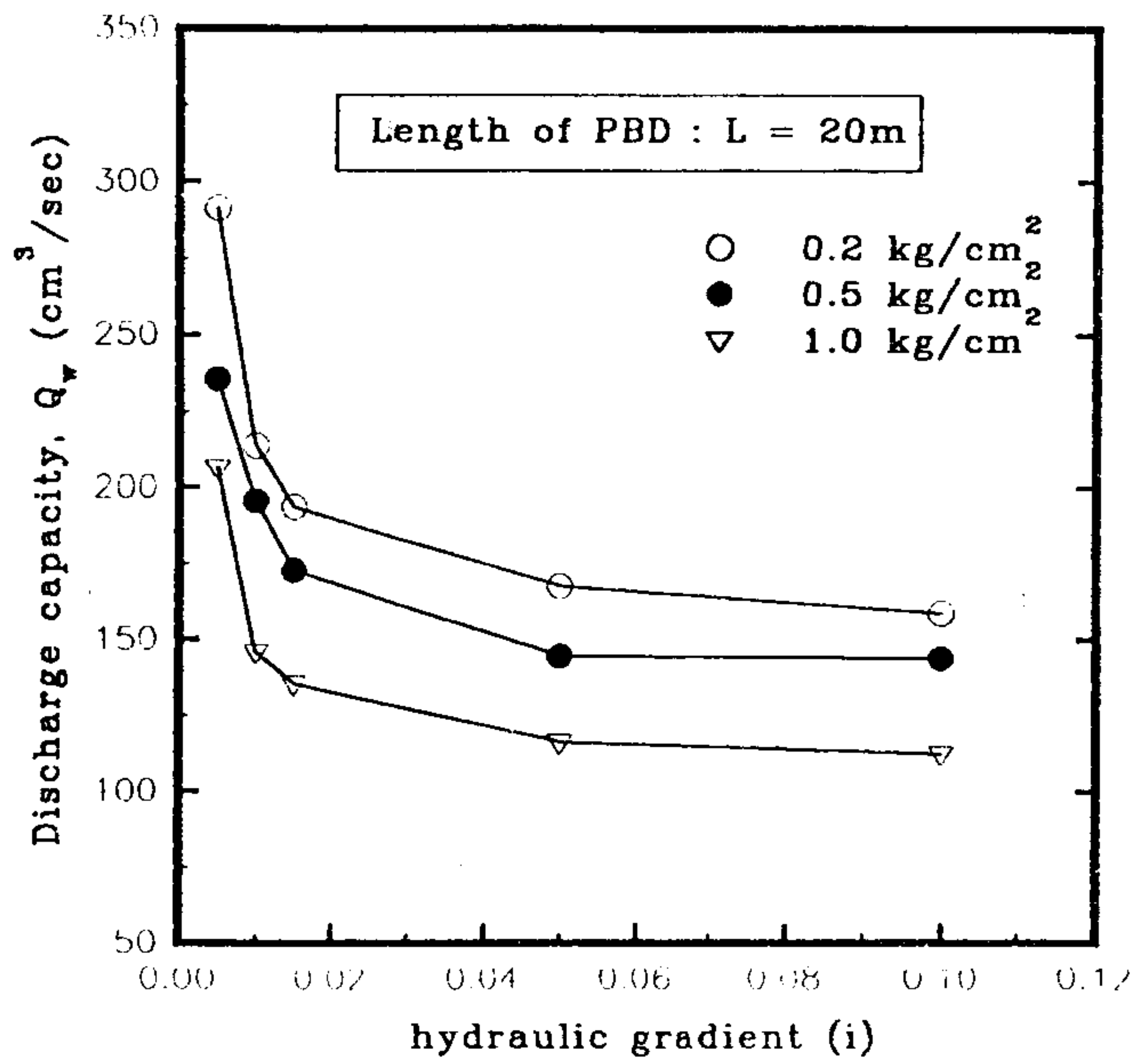


그림-16 동수구배에 따른 통수능력의 변화 (L=20m)

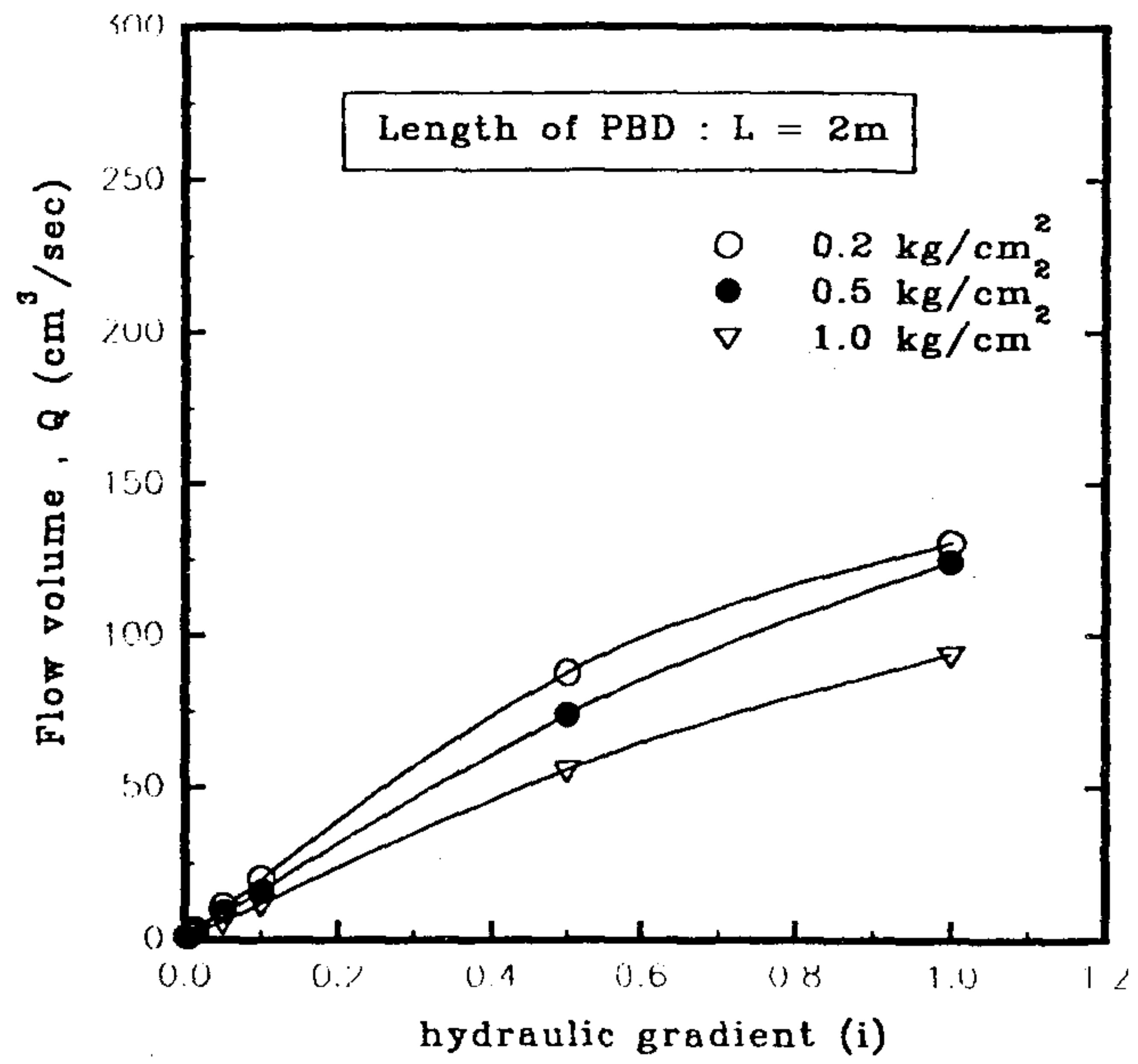


그림-17 동수구배와 유량의 관계(L=2m)

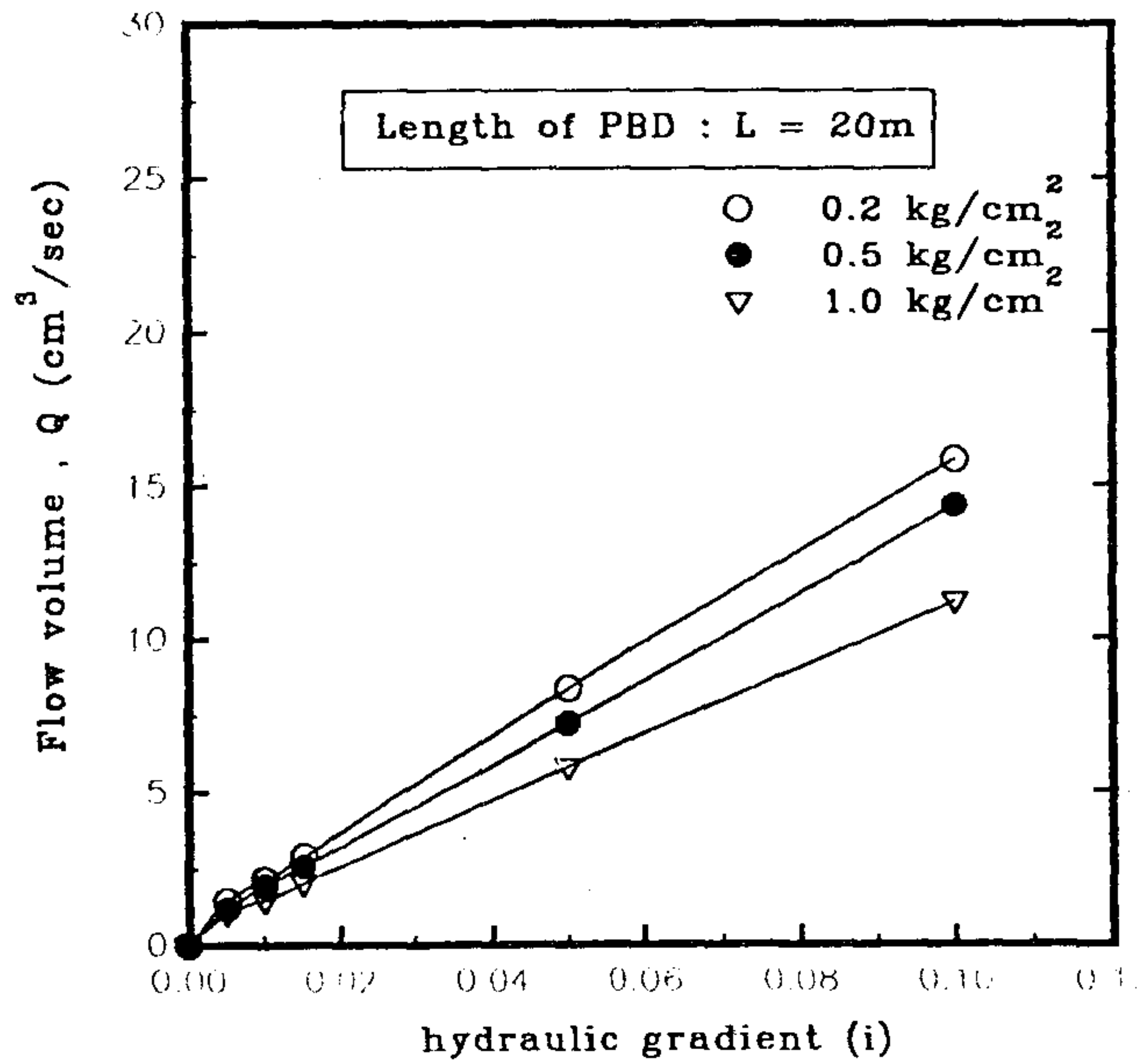


그림-18 동수구배와 유량의 관계(L=20m)

각 흐름상태를 나타내는 Reynolds수의 범위는 다음과 같다.

$R_e < 2,000$: 층류영역

$2,000 < R_e < 4,000$: 천이류영역

$R_e > 4,000$: 난류영역

그림 17, 18에는 $L=2m$ 와 $20m$ 에 대한 동수구배와 유량의 관계를 나타낸다. $L=20m$ 에서는 낮은 동수구배조건이어서 동수구배와 유량이 직선의 관계를 나타내고 있음에 반하여 $L=2m$ 에 대해서는 높은 동수구배 $i=1.0$ 까지 변화시키면서 유량을 구하였기 때문에 층류에 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-19에는 측압 $0.2kgf/cm^2$, 동수구배 i 가 0.015 , PD재의 길이 $L=50m$ 인 시료에 대하여 (약 80시간에 걸쳐) 장기통수능력시험을 실시한 결과를 나타낸다.

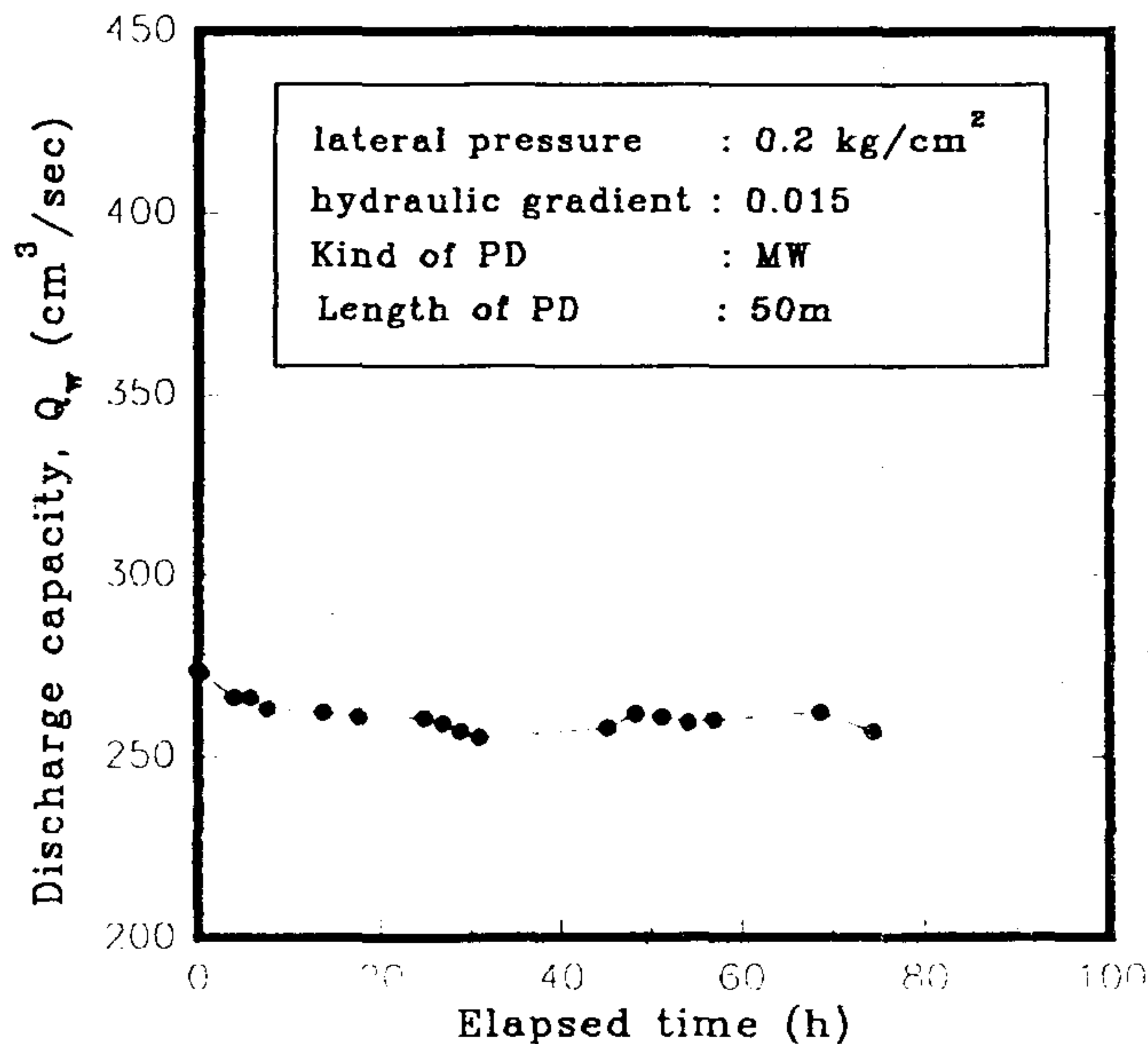


그림-19 PD재의 장기 통수능력 시험 결과

이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 초기 약 2시간에 걸쳐서 통수능력 Q_w 가 저하하는 현상을 보이나 그 이후에는 거의 일정한 값을 나타내는 것을 알 수 있다. 이는 PD재의 filter sleeve가 저습담 지표면으로 부터 약 2m에 타설된 경우에 측압의 영향을 받아도 지속적인 creep현상에 의한 유로단면감소는 발생하지 않는다고 할 수 있다. 즉 통수개시 후 2시간 경과 후에 측정된 통수량은 PD재의 배수성능을 대표할 수 있는 값이라 판단된다.

라. 복합 통수능력시험 결과

대표적인 저습담의 흙을 대상으로 PD재의 필터 슬리브와 코어의 복합적인 통수능력을 실내에서 직접 규명하고, PD재와 재래식 암거재(PVC 유공관, 왕겨)와의 통수능력 비교를 위하여 그림-20에 나타내는 것과 같은 복합통수능력

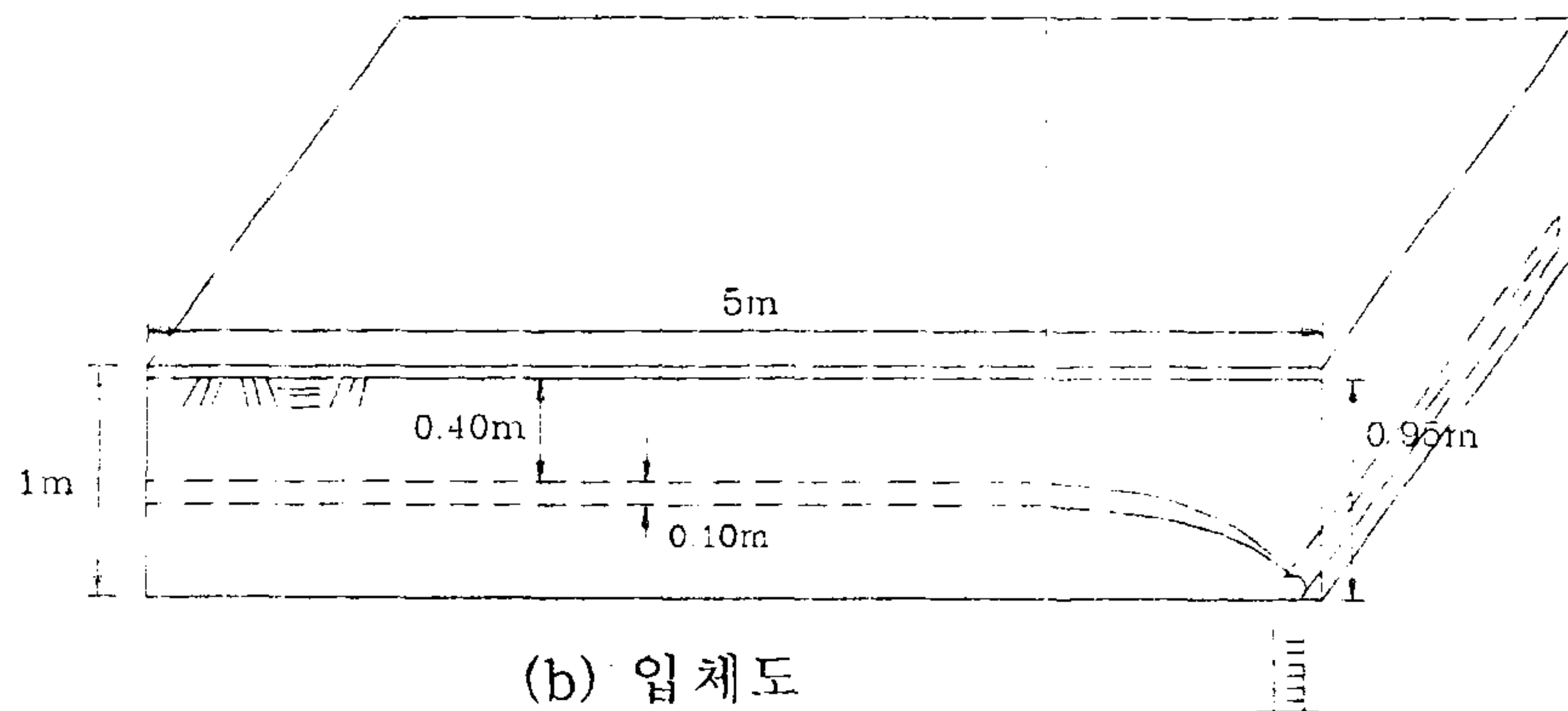
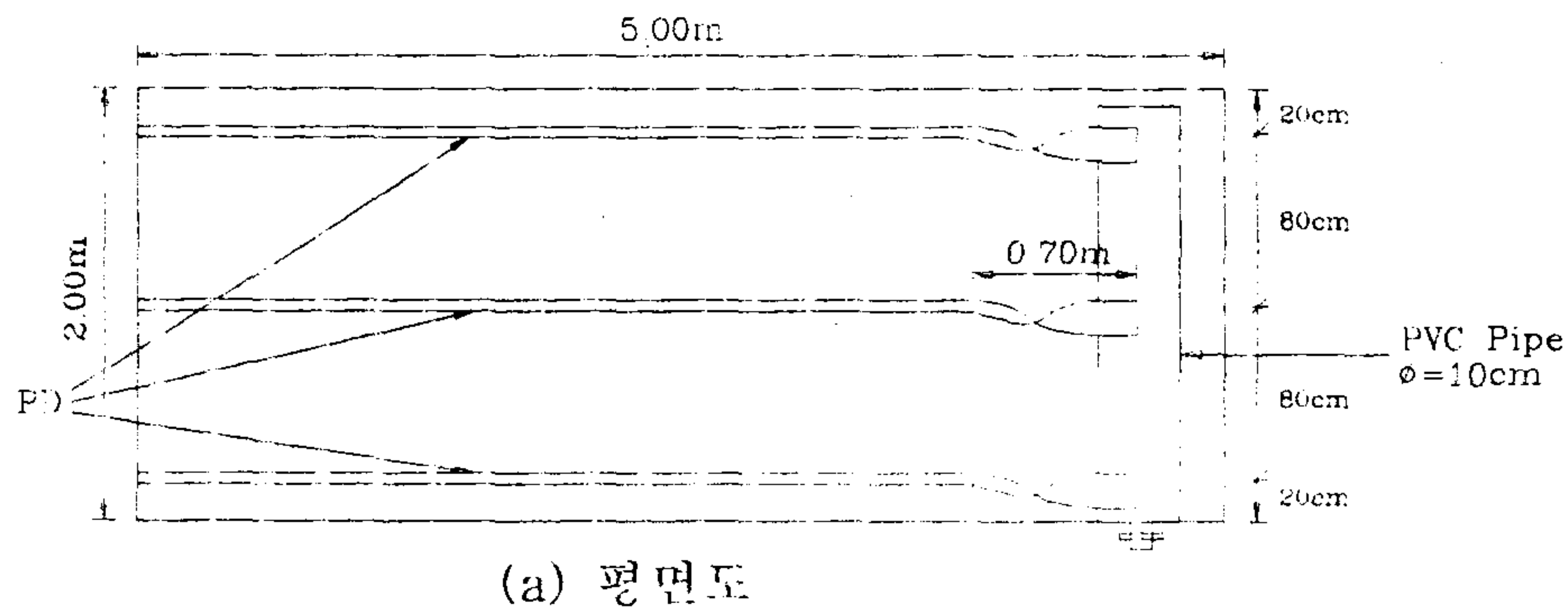


그림-20 복합 통수능력 시험장치

시험장치(A×B×H=2.0×5.0×1.0m)를 이용하여 실내시험을 실시했다.

시험장치 외부에는 일정높이에 미동압력계를 5개 설치하고 피조메타를 4개 소 설치하여 간극수압의 경시변화가 측정되게 하였으며 측면에 아크릴판(B×H=20×40m)를 4개소 부착하여 압밀진행상태가 파악된다. 배수효과는 PD재 끝단을 PVC 파이프($\phi=10\text{cm}$)에 고정시켜 배제되는 배수량을 직접 측정할 수 있도록 하였다.

당년도에 시험에 적용한 저습담의 시료는 경기도 안산시 대부동에서 채취하였다. 그 물리적 성질은 현장 함수비 $w_n=42.3\%$, 액성한계 $w_L=53.6\%$, 소성지수 $I_p=20.7\%$, 비중 $G_s=2.65$ 인 저소성의 실트질 점토(CL)이다.

그림-21에는 시험에 이용된 시료의 대표적인 입도곡선을 나타낸다. 현장에서 채취한 흙은 함수비 49%로 조정하였으며, 흙덩어리를 파쇄하기 위하여 콘크리트용 믹서(용량 : 0.15m^3)를 이용하여 균일하게 된 흙을 시험장치속에 투입하였다.

배수개선재로는 PD(MW)를 이용하였고, MW를 시험장치의 흙표면으로 부터 45cm깊이에 80cm간격으로 3분을 인력으로 압입에 의하여 수평으로 타설하였다. PD재 3분중 바깥 2분은 수조 벽면과 20cm의 간격을 유지하게 된다.

(그림-20 참조).

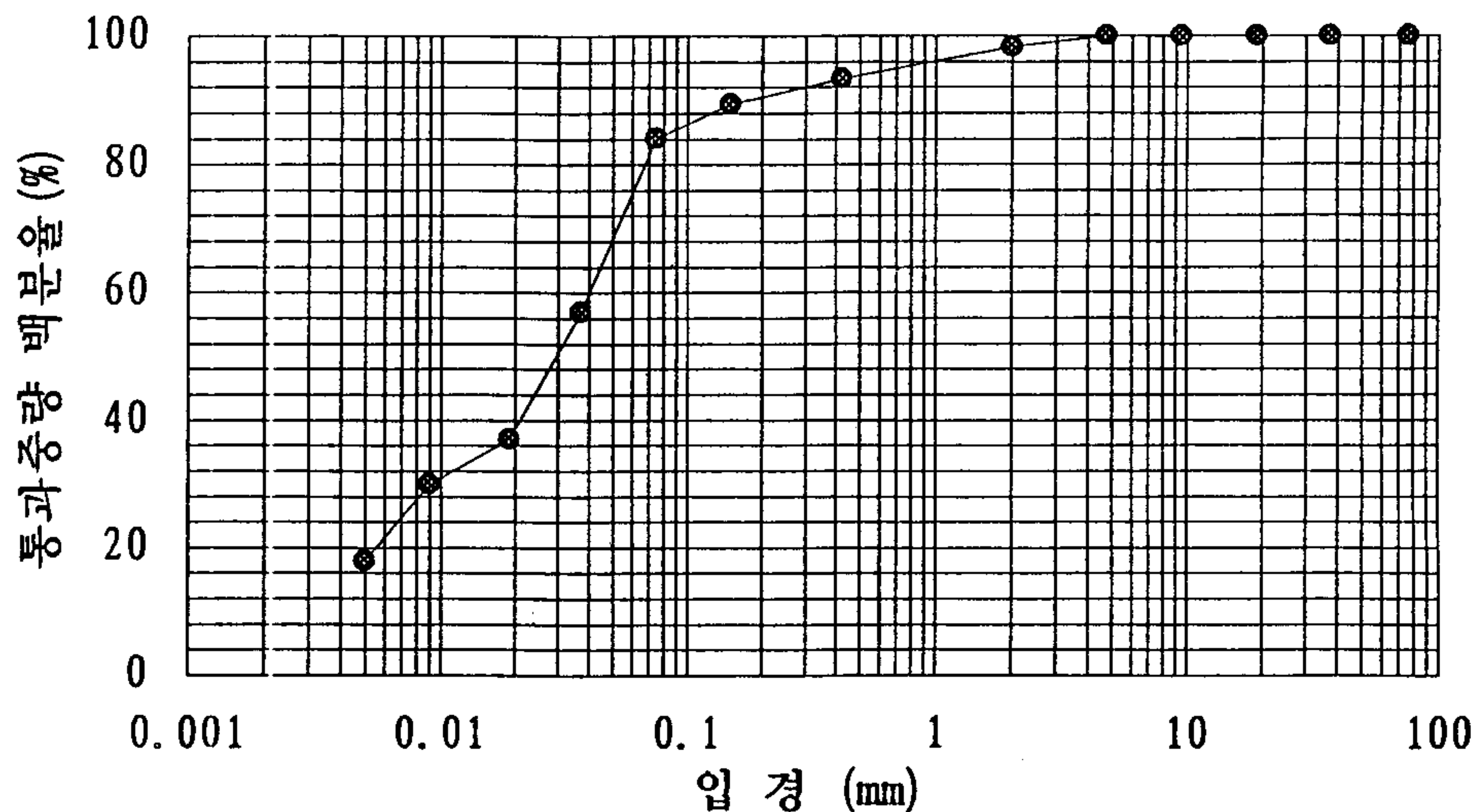


그림-21 시험에 사용된 시료의 입도곡선

흙시료의 투입과 PD재의 설치를 종료하고는 물의 흐름을 관수로 상태로 유지하기 위하여 PVC파이프 속에 PVC 끝단에 설치된 스탠드 파이프($\phi=1\text{cm}$, $H=1\text{m}$)를 이용하여 주수하여 만관으로 하였다. 또한 4일간 방치하여 자중압밀에 의한 공기제거 및 과잉수 배출을 실시하고 난 후 실험장치 내부에 투입된 흙의 균일성등 초기상태를 파악하기 위하여 장치내부의 대표적인 위치 6개소에서 시료를 채취하여 함수비를 확인한 결과 $w=48.4\%$ 였다.

표-5에는 6개소에서 채취한 시료의 기본적인 성질을 나타낸다.

표-5 실험장치내에서 채취한 시료의 기본적인 성질

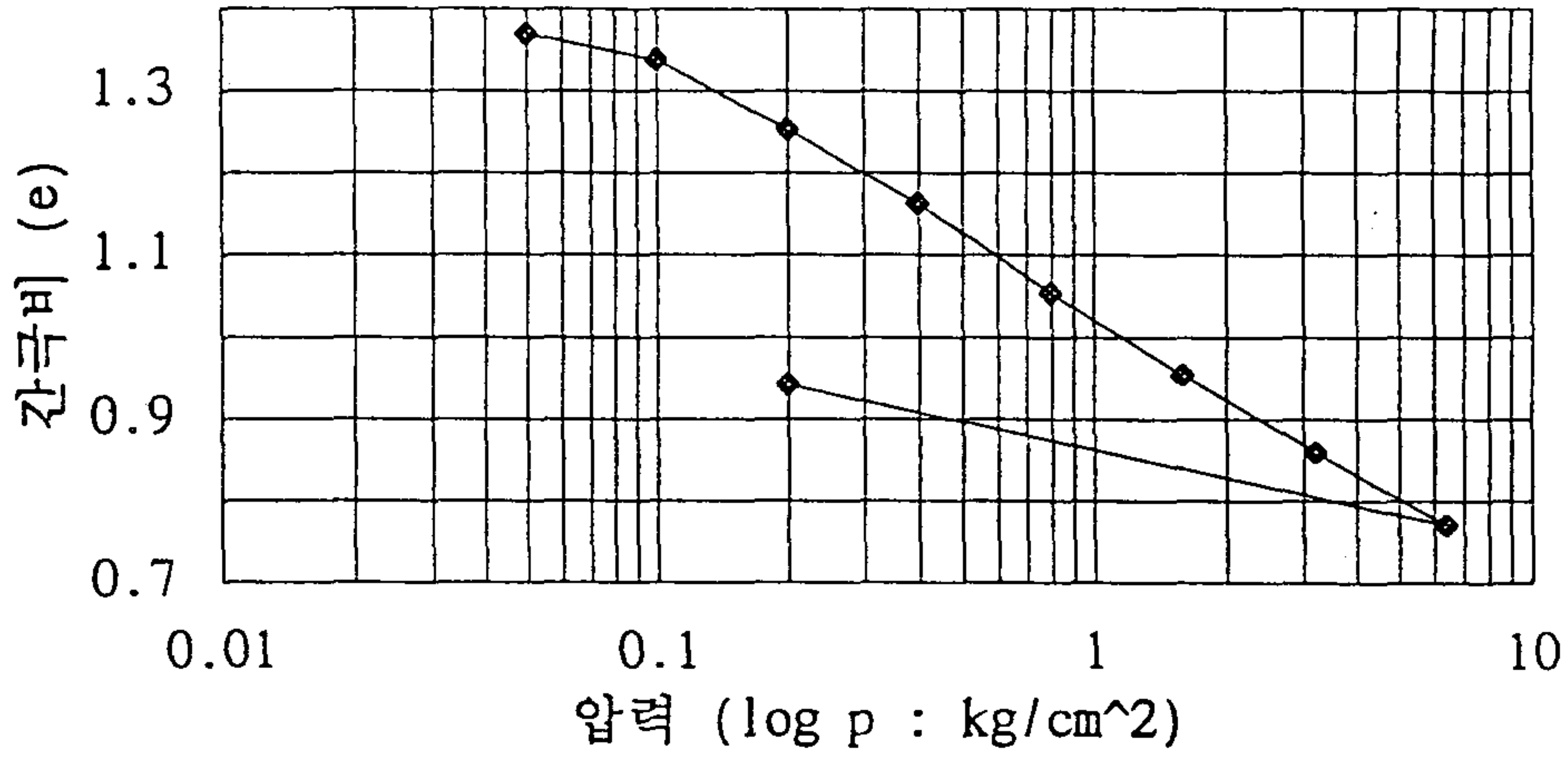
시료 번호	심도(m)	입도(%)			습윤단위 중량, γ_t (g/cm^3)	함수비, w(%)	액성한계 LL(%)	소성지수 I_p (%)	비중, G_s	통일분류
		점토	실트	모래						
1	0.2	18.0	62.8	19.2	1.803	53.6	34.5	20.7	2.662	CL
2	0.3	18.0	65.5	16.5	1.783	57.0	35.1	19.1	2.664	CL
3	0.4	16.0	70.0	14.0	1.818	42.9	34.9	18.5	2.667	CL
4	0.5	16.0	63.2	20.8	1.834	44.1	35.5	18.5	2.662	CL
5	0.3	18.0	66.3	15.7	1.724	46.7	34.6	18.7	2.663	CL
6	0.3	18.0	66.0	16.0	1.816	46.0	38.7	22.2	2.664	CL
평균	-	17.3	65.7	17.0	1.796	48.4	35.6	19.6	2.664	CL

통수시험을 실시하기 직전에 시험장치의 중앙부의 심도 $h=0.3\text{m}$ 위치에서 불교란 시료를 2점 채취하여 연직방향과 45° 방향의 압밀시험을 실시했다.

그림-22에는 압밀압력 $P \sim$ 간극비 e 의 관계를 나타냈다. 그림-22에서 알 수 있는 바와 같이 시료를 투입하고 4일간 자중압밀시킴에 의해 연직방향과 45° 방향의 초기 간극비가 다르게 되어 있음을 알 수 있다. 즉, 연직방향의 초기 간극비 $e_{0v}=1.37$ 로 45° 방향값 $e_{045}=1.23$ 의 약 1.1배를 나타냈다. 이 차이는 $6.8\text{kgf}/\text{cm}^2$ 까지 8단계의 압밀하중을 거쳐도 유지되고 있다.

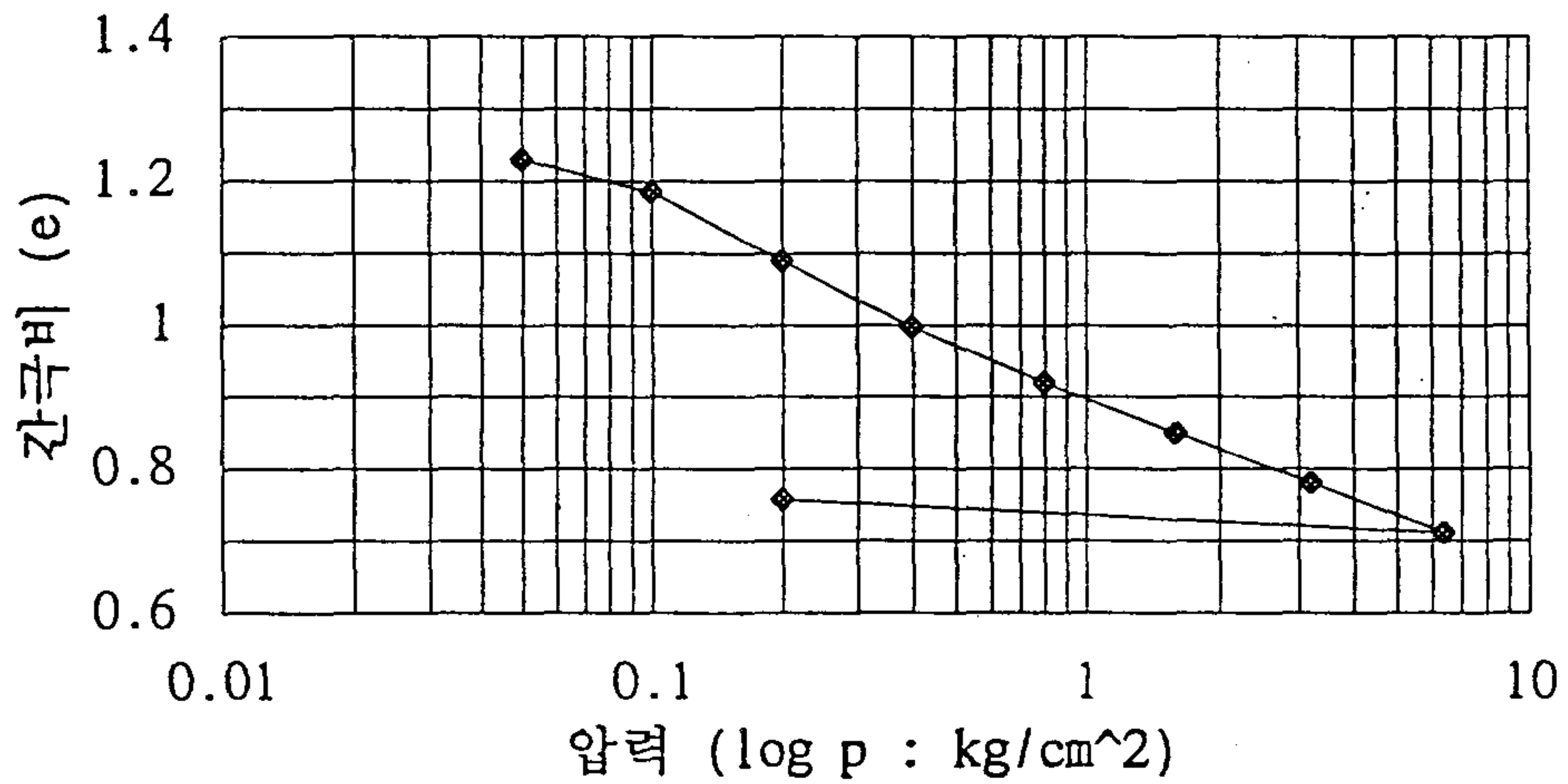
선행압밀압력 P_c 값은 거의 같으며 하중 제거에 의한 팽창량도 연직방향의 값이 큼을 알 수 있다. 평균압밀압력 $0.3\text{kgf}/\text{cm}^2$ 에 대한 연직방향과 45° 방향의 압밀계수를 비교해 본 결과 $c_v=5 \times 10^{-4}\text{cm}^2/\text{sec}$ 에 대하여 $c_{45}=4.5 \times 10^{-4}\text{cm}^2/\text{sec}$ 로 거의 같은 값을 나타내고 있다.

e - log p 곡선



(a) 연직방향

e - log p 곡선



(b) 45° 방향

그림-22 압밀압력과 간극비의 관계

배수량을 측정하기 위해서 PVC파이프 끝단에 직경 1cm의 수도꼭이 설치되어 있으며 수도꼭을 통해 배출된 물은 배수측정용 용기에 모이도록 했다. 측정개시 부터 1시간 까지는 5분 간격, 3시간 까지는 30분 간격, 3시간 이후는 2시간 간격으로, 12시간 이후는 12시간 간격으로 배수량을 측정하였다.

통수개시 후 30일이 경과한 '95. 10. 15일 초기상태와 같은 위치에서 대표적인 함수비를 측정해 본 결과 $w=44.5\%$ 를 나타냈으며 당초 함수비 $w_i=48.4\%$ 보다 약 4% 저하한 것을 알 수 있다.

그림-23에는 경과시간과 통수량 Q의 관계를 나타냈다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 횡축을 경과시간의 대수치를 취하면 통수량의 저하가 지수적으로 일어나는 것을 알 수 있다. 통수량이 경과시간에 따라 급속히 저하하는 것은 토양속에 포함된 간극수압의 저하에 기인된다.

그림-24에는 경과시간과 간극수압의 관계를 나타냈다. 대표적인 6개소의 간극수압을 측정한 결과 시간이 경과함에 따라 간극수압의 소산이 직선적으로 일어남을 알 수 있다. 간극수압이 직선적으로 저하하는 것은 토양중의 간극수의 배출이 원활하게 일어나고 있음을 입증하고 있다.

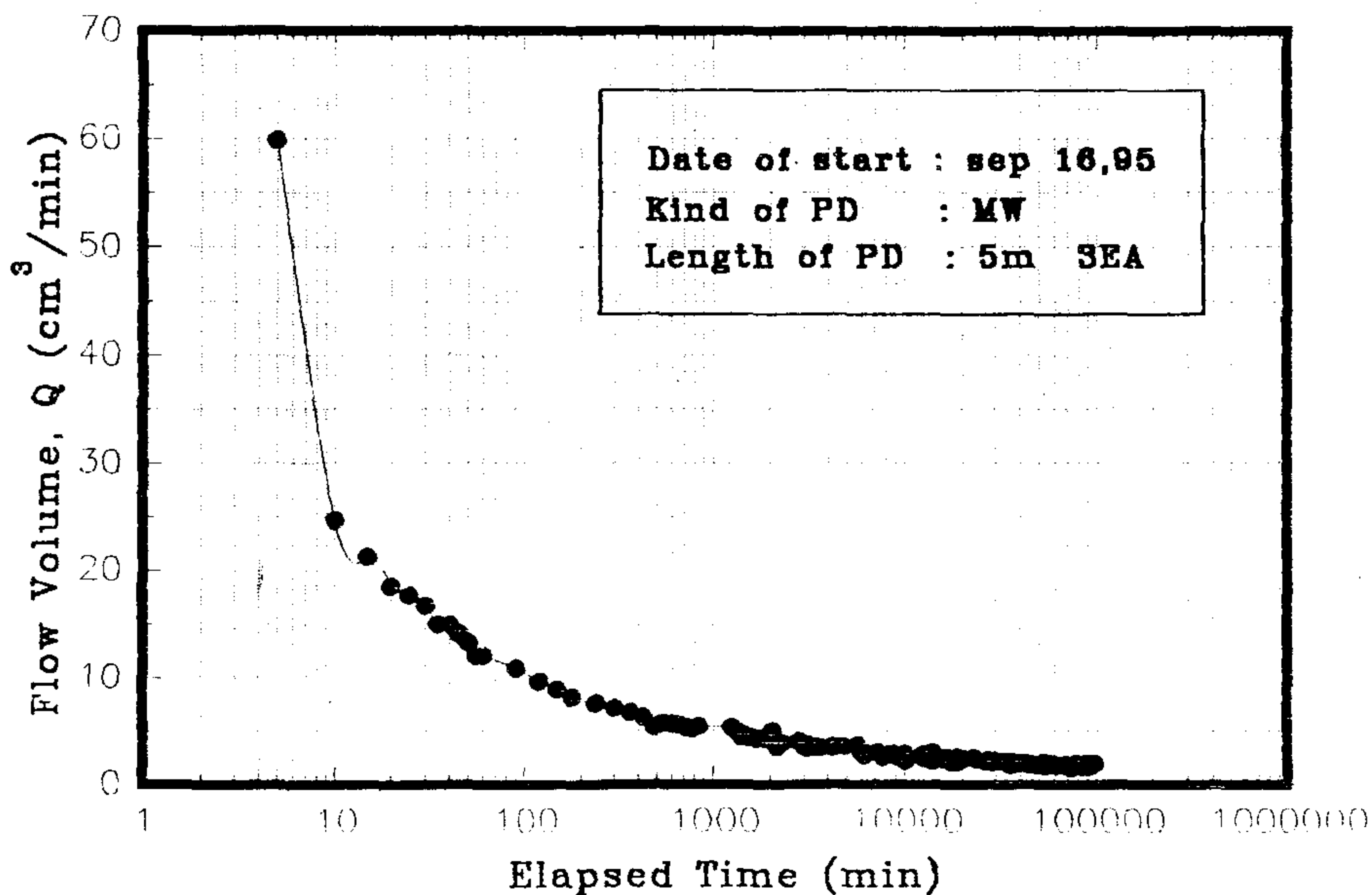


그림-23 통수량의 경시 변화

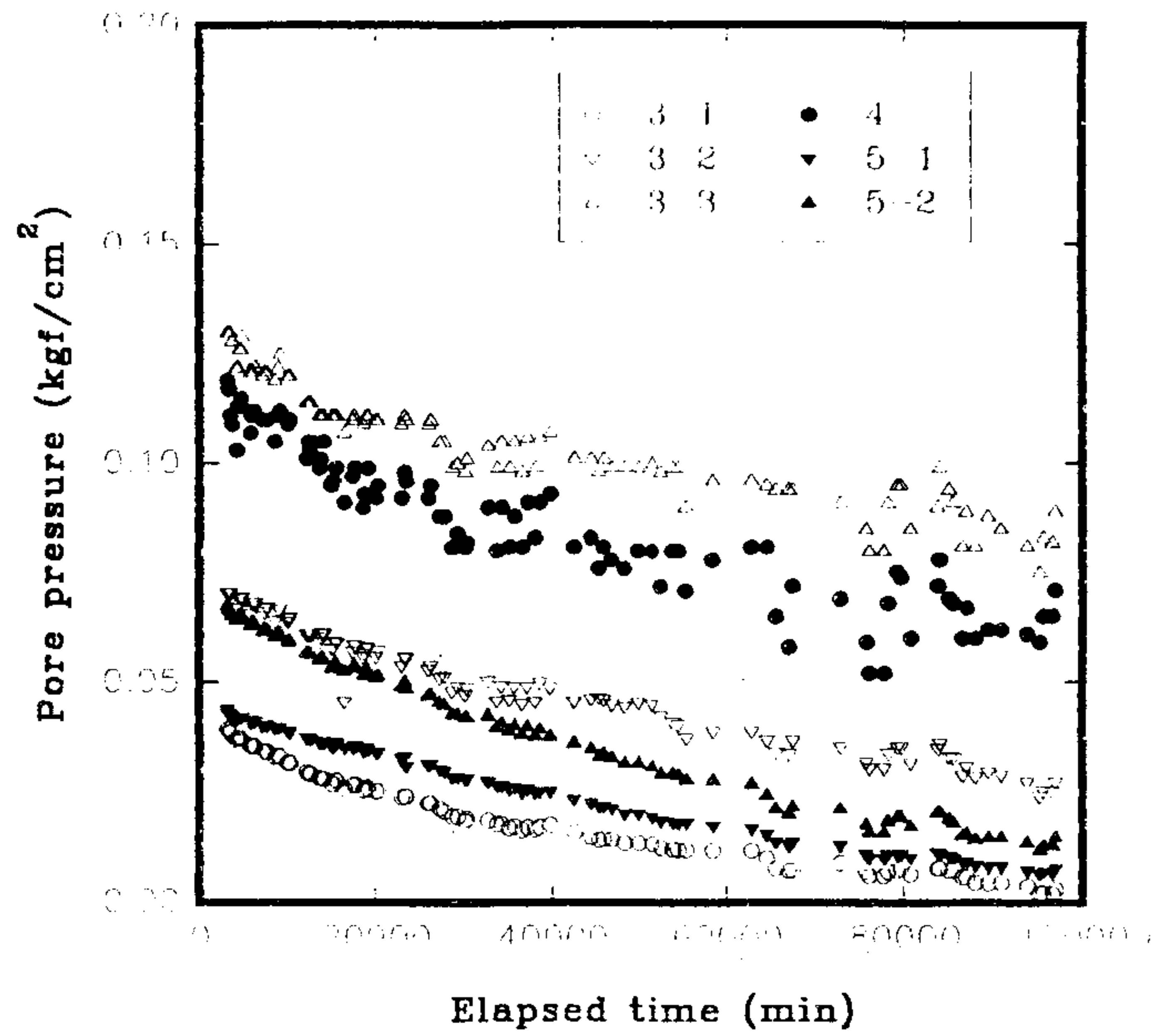


그림-24 간극수압의 경시 변화

마. 대표적인 저습답의 토질 역학적 특성

저습답 토질의 물리·역학적인 성질을 규명하기 위하여 대표적으로 농진공 충남지사 논산군 지부의 신화지구 배수사업지구 위치에서 시료를 채취하여 실내시험을 실시하였다.

신화지구는 충남 논산군 연무읍 신화리, 채운면 삼거리 외 3개리와 전북 익산군 망성면 무형리에 걸쳐 분포하며, 구역면적 1,074.5ha, 몽리면적 954.5ha로서 주요공사는

- 흡수관 매설 : 938ha, L=857.56km
- 심토파쇄 : 15,64ha
- 배수지선 : 7조 12.521km
- 배수지거 : 87조 41.21km

- 복관 : 25조 5.68km로 되어 있다.

한 외 5인(1990)에 의하면 본 지구는 충적층 및 홍적층을 모재로 하는 토양으로 하해혼성 평탄지, 곡간지 및 홍적대지에 분포되어 있으나 대부분이 하해혼성평탄지로서 경사가 2%미만으로 지표수 및 지하수의 배제가 원활하지 못했다.

본 지구내의 토양은 하해혼성 충적층으로 토양배수는 불량~약간 불량이며 토성은 미사질 양토 및 미사질 식양토이다. 지하수위는 대부분 50cm이내로 높다(한 외 5인, 1990).

또한 지하수위, 불투수층 및 투수계수등을 고려하여 재래식 PVC 유공관으로 배수개선을 실시할 경우 약 10m의 간격으로 암거를 설치하면 좋은 토양특성을 가진다(한 외 5인, 1990). 표-6에는 대표적인 5개소의 토양시험 성적을 나타낸 것이다.

토질의 기본적인 성질을 파악하기 위하여 시료를 채취한 위치는 연무읍 신화리 근처이며, 채취심도는 지표면으로 부터 10~30cm이다. 표-7에는 채취된 시료의 물리적 성질을 나타낸다.

표-6 대표적인 위치의 토양시험 결과(한 외 5인, 1990)

시료명	심도(m)	입도(%)			PH(1:2.5)	유기물 O.M(%)	유효인산 AVa, P ₂ O ₅ (ppm)	전도도 E _c (m ω /cm)	포화 수분함량 SP(%)
		점토	실트	모래					
1	50~100	15	75	10	5.6	0.06	22	0.48	32.8
2	"	14	70	16	4.6	0.96	26	0.78	38.7
3	"	14	68	18	4.6	1.57	23	0.63	41.3
4	"	17	71	12	4.5	1.52	28	0.46	36.1
5	"	27	61	12	4.4	0.91	26	0.53	34.4
평균		17.4	69.0	13.6	4.7	1.00	25	0.58	36.7

그림-25에는 대표적인 시료의 교란과 불교란 조건에서 변형율 ϵ ~ 일축압축강도 q_u 의 관계를 나타낸다. 불교란시료의 peak치도 다소 큰 변형에서 나타나서 시료채취중 및 운반중에 다소 교란의 영향을 받은 것으로 판단되나 $q_u=2.37\text{kgf/cm}^2$ 를 나타내어 교란된 조건의 $q_{ur}=1.28\text{kgf/cm}^2$ 에 비해 약 2배 큰

표-7 채취시료의 물리적 성질

함수비 W _n (%)	액성한계 W _L (%)	소성한계 W _P (%)	습윤단위중량 $\gamma_t(\text{gf/cm}^3)$	투수계수 k(cm/sec)	공극비 e	포화도 S _r (%)
32	39.7	28.6	1.82	2×10^{-5}	0.87	94

값을 나타냈다.

즉, 이곳 흙의 예민비($S_t=q_u/q_{ur}$)는 1.85여서 중기작업 실시시에 지표면의 주행성은 양호한 것으로 판단된다. 나머지 시료에서도 예민비는 1.88과 1.95를 나타냈다.

그림-26에는 연직과 수평방향의 압밀 이방성을 검토하기 위하여 실시한 연직과 수평방향 시료에 대한 압밀압력 P~간극비 e의 관계를 나타냈다. 벼를 재배하기 위하여 표면을 서레질로 완전히 교란시켰기 때문에 연직방향과 수평방향의 선행압밀압력 $P_c=0.225\text{kgf/cm}^2$ 와 0.235kgf/cm^2 로 거의 차이가 없음을 나타냈다.

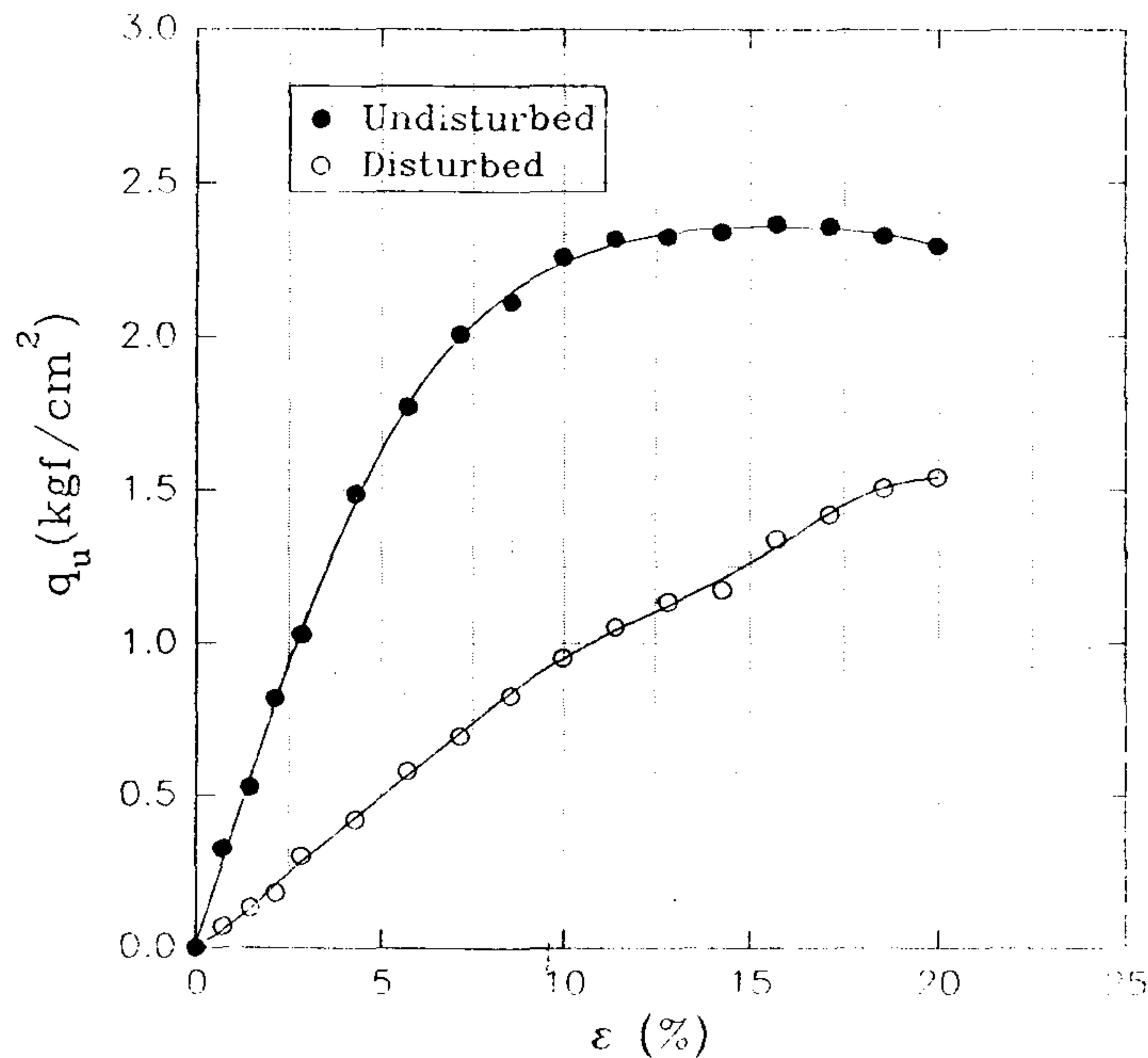


그림-25 교란 및 불교란 시료의 일축압축강도 비교

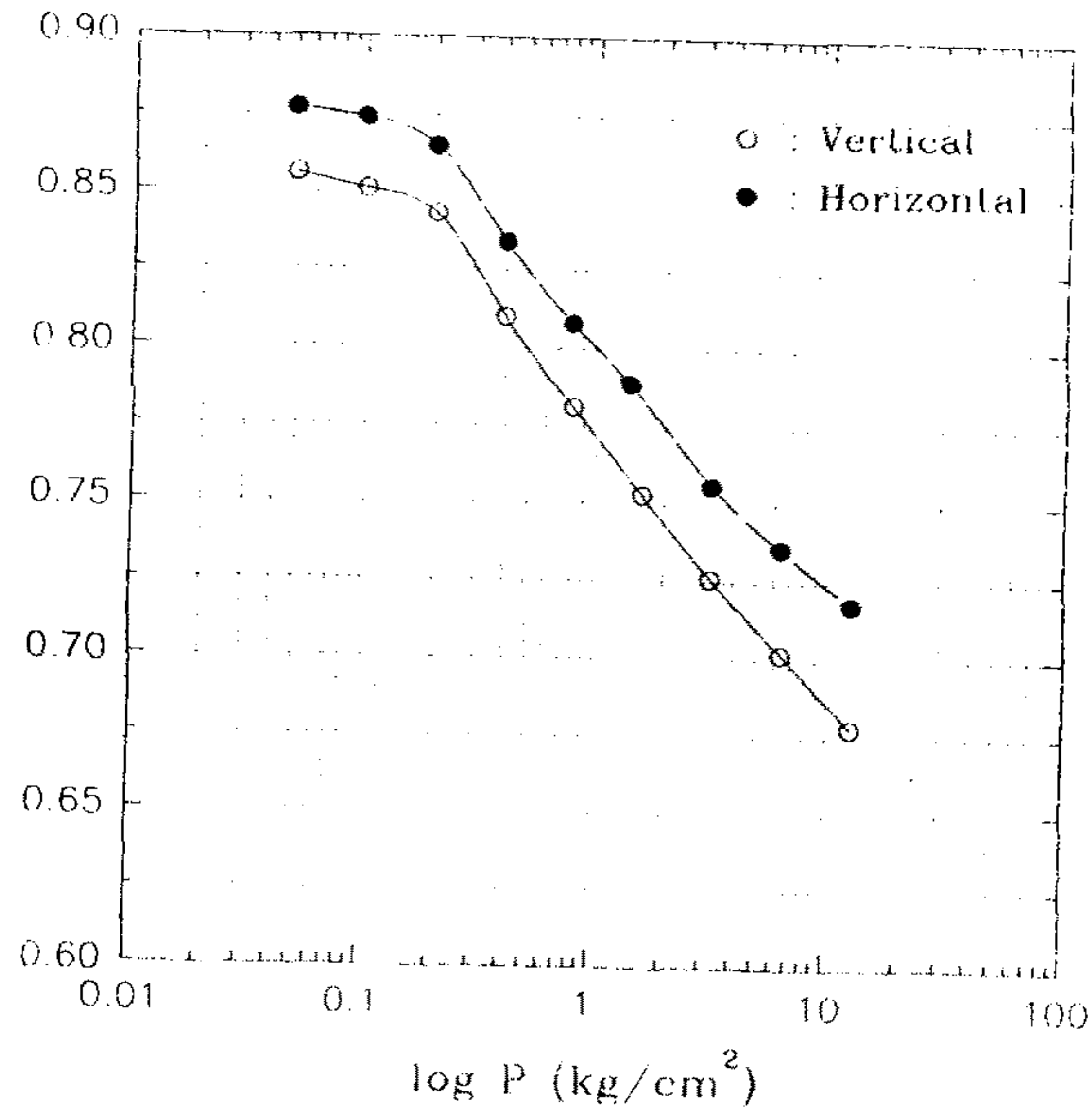


그림-26 교란 및 불교란 시료의 압밀압력과 간극비의 관계

표-8에는 연직방향과 수평방향의 압축지수 c_c , 평균압밀압력 $P=0.2\text{kgf/cm}^2$ 에 대한 압밀계수 c_v 값과 투수계수 값을 상호 비교하여 나타냈다.

표-8 연직 · 수평방향의 압밀특성 비교

구분	함수비 w(%)	초기 공극비 e	포화도 S _r (%)	압축지수 c _c	압밀계수 c _v (m ² /year)	투수계수 k(cm/sec)	체적압축계수 m _v (cm ² /kgf)
연직	34	1.03	86.5	0.09	13.7	1.8×10 ⁻⁶	4.3
수평	32	0.96	87.3	0.11	9.2	1.0×10 ⁻⁶	4.8

표에서 알 수 있는 바와 같이 각 토층에 있어서 압축지수, 압밀계수, 투수계수 및 체적압축계수는 연직 · 수평에 관계없이 큰 차이를 보이지 않고 있음을 알 수 있다. 따라서 작토층내의 간극수의 흐름은 모든 방향에 동일하다는 이

론적 근거를 갖고 해석을 하여도 무방하다고 판단된다.

바. 배수개선 원리 규명

범용농지에 있어서 지표유출량은 포장유출율 γ 과 강수량 R 의 곱으로 부터 구할 수 있다. 강하침투량과 증발산의 합이 최대치를 계획일감수심 $F(\text{mm/day})$ 으로 하여 토양중의 허용저류용량을 S 라고 하며 전(田)면 감수심을 y , 계획배수시간을 T 로 하면 계획일암거배수량 $D(\text{mm/day})$ 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$D = \frac{1}{T} \{ (1 - \gamma)R - S \} - F \quad (3)$$

여기서 D 의 상한치는 50mm/day 정도이다(농진공, 1993).

위에서 구한 D 는 암거에 의해서 배출되어야 하며, 경지의 조건을 작토층은 투수층으로 하고 경반보다 아래층은 투수성으로 하여 토양중의 간극수는 작토층을 수평으로 흘러서 암거에 달하는 것으로 하고 Dupuit-Forchheimer식에 의하여 그림-27의 기호를 이용하면 다음과 같다.

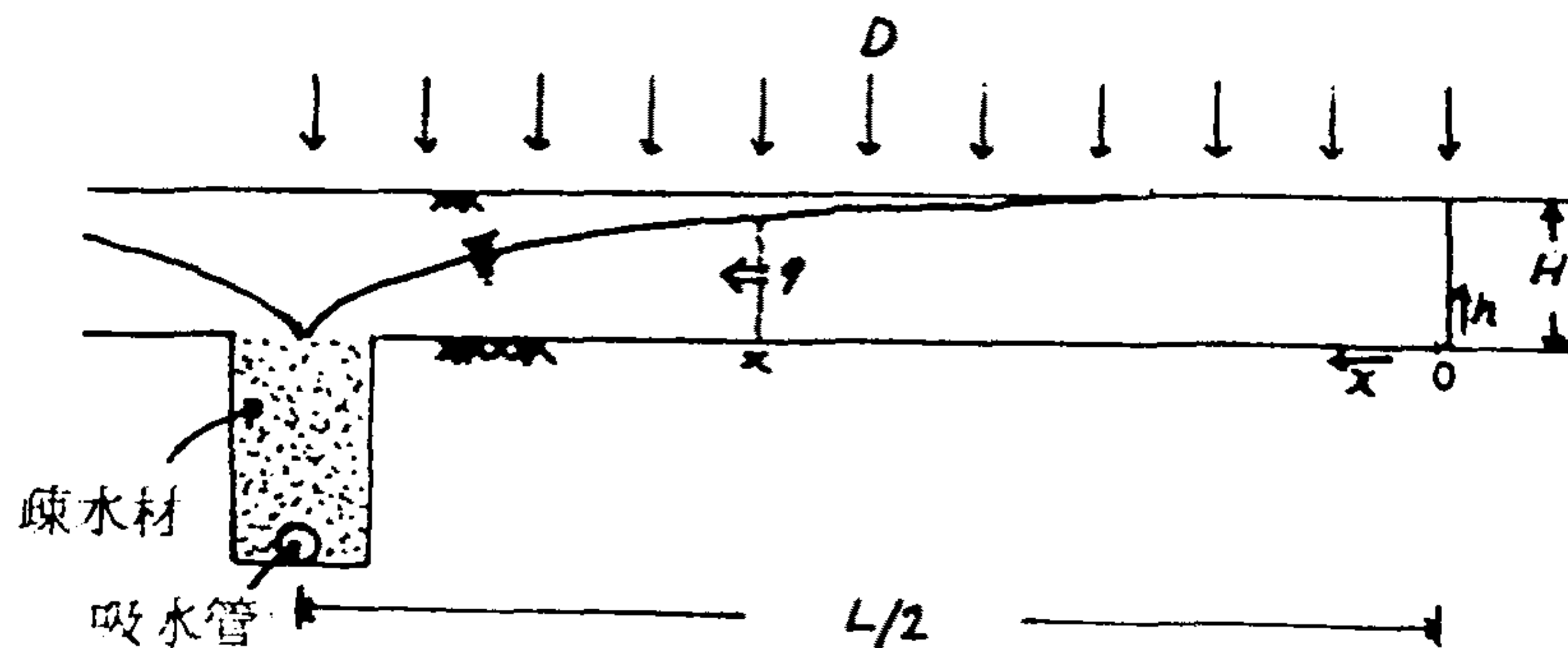


그림-27 암거배수 모식도와 기호 설명

$$q = -ky \frac{dh}{dx} \quad (4)$$

$$q = D \cdot X \quad (5)$$

여기서, q 는 단위폭당 유량, k 는 투수계수이고 식(4), (5)에 q 를 소거 적분하면

$$D \int_0^x dx = -k \int_h^H dh \quad (6)$$

$x=0$ 일때 $h=H$ (H 는 작토층의 두께이며 암거 사이의 중앙에서의 수면이 지표면과 일치한다)라고 하면 :

$$\frac{D}{k} x^2 + h^2 = H^2 \quad (7)$$

이 식은 계획일 암거배수량을 D , 암거간격을 L 이라 하면 수면형은 암거 중앙부에서 지표면에 접하는 타원형으로 됨을 알 수 있다.

식 (7)에서 암거직상부, 즉 $x=L/2$ 일때 $h=0$ (암거직상부의 수면이 작토층의 바닥에 일치한다)라 두면

$$L = 2H \sqrt{\frac{k}{D}} \quad (8)$$

이 된다. 식 (8)은 Rothe, Hooghoudt, Uisser, England등에 의해서 채용된 일반적인 암거 간격식이다.

PD재에 이 원리를 이용할 경우는 소수재와 흡수관 전체를 PD단면($B \times t=10\text{cm} \times 3\text{mm}$)으로 보면 될 것이다.

또한 그림-27과 같이 PD재를 향하여 유입되는 물의 양은 PD재 타설간격 P 와 타설심도 h 에다 지하층에서 간극수가 PD를 향해 유입되는 두께 h' 를 합한 면적에서 이동되는 간극수일 것이다.

이와 같은 모델을 가정하면 잉여간극수 배제에 소요되는 시간 t 및 배제속도에 영향을 주는 요소 U_s 는 Hansbo(1979)가 연직배수재에서 제안한 이론과 같은 개념으로 생각할 수 있을 것이다.

$$U_s = F(n) + F(s) + F(r) \quad (9)$$

$$t = d_e^2 \cdot \frac{T_h}{c_h} \quad (10)$$

$$T_h = U_s \cdot \ln \frac{1}{1 - U_h} \quad (11)$$

$$U_h = 1 - \exp \frac{-8T_h}{U_s} \quad (12)$$

여기서 $F(n)$, $F(s)$, $F(r)$ 는 각각 PD재의 타설간격, 스미어존 및 웰레지스턴스에 의한 영향이다. d_e : PD재의 등가 영향원의 직경(저습답에서는 폭 : $P \times$ 높이 : $h+h'$ 의 타원형의 평균직경으로 하면 된다.) c_h : 수평방향압밀계수, U_h : 수평배수에 의한 압밀도, T_h : 시간계수이다.

그림-28에는 지반 및 PD조건이 표-9의 값인 경우에 대하여 3종의 영향치를 PD재의 등가영향원의 직경과 등가직경의 비 $n(=d_e/d_w)=10\sim 50$ 의 범위에서 플롯트한 것이다. $F(n)$ 및 $F(s)$ 의 값은 표-9에 나타내는 바와 같이 모든 케이스에 있어서 같은 값으로 하였다.

표-9 지반 및 PD재의 조건

Case	Parameter		
	L of PD (cm)	$k_c (=k_b)$ (cm/sec)	The others
A	1000	10^{-6}	$d_w = 5$ cm $k_w = 10$ cm/sec $s(=d_s/d_w) = 3$ $k_c/k_s = 3$
B	3000	10^{-7}	
C	3000	10^{-6}	
D	5000	10^{-7}	
E	5000	10^{-6}	

L : Length of PD

d_w : Equivalent diameter of PD

d_s : Diameter of smear zone

k_c/k_s : Ratio of horizontal coefficient of permeability of undisturbed and smear zones

k_w : Longitudinal coefficient of permeability of PD

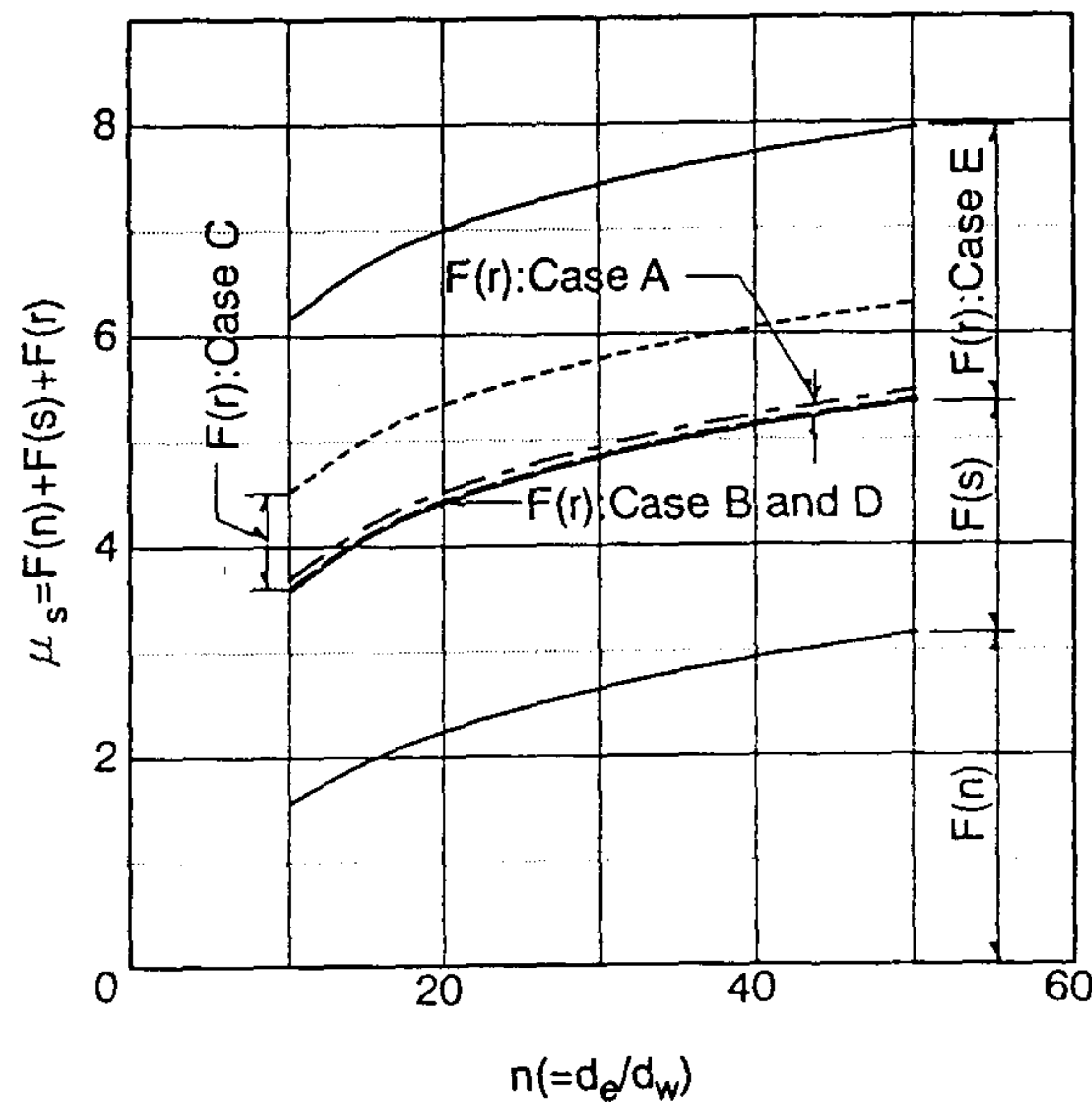


그림-28 3종의 영향치 산정 결과

점토지반($k_h=10^{-7}$ cm/sec, Cases B, D)의 경우는 PD의 길이 L이 50m인 경우에도 웰레지스턴스의 영향이 작다. 한편 투수계수가 높은 실트지반($k_h=10^{-5}$ cm/sec, Cases A, C, E)의 경우는 PD재 타설간격 및 스미어존의 영향과 같이 웰레지스턴스의 영향이 크고 L=10m인 경우에도 무시할 수 없는 정도이다. 따라서 저습답의 토질이 실트지반의 경우에는 PD재의 수평방향 통수시험은 중요한 의미를 갖게 된다.

현장설계에 있어서 간극수 배제속도에 영향을 주는 요소로서 PD재의 간극만의 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

$$F(n) = \left(\frac{n^2}{n^2-1} \right) \ln n - \frac{3}{4} + \left(\frac{1}{4n^2} \right) \quad (13)$$

여기서 PD의 등가영향원의 직경 d_e 는 PD재의 등가직경 $d_w(=2(a+b)/\pi)$ 의 20배 이상이 일반적이므로 $1/4n^2$ 을 무시하면 식 (14)과 같은 근사식을 얻을 수 있다. 여기서 a : PD재의 폭, b : PD재의 두께이다.

$$F(n) = \ln n - \frac{3}{4} \quad (14)$$

그림-29는 PD재에 스미어존 및 웰레지스턴스의 영향을 무시한 이상적인 조건에 있어서 $n(=d_e/d_w)=15\sim 40$ 의 범위에서 PD재의 타설간격의 영향 $F(n)$ 의

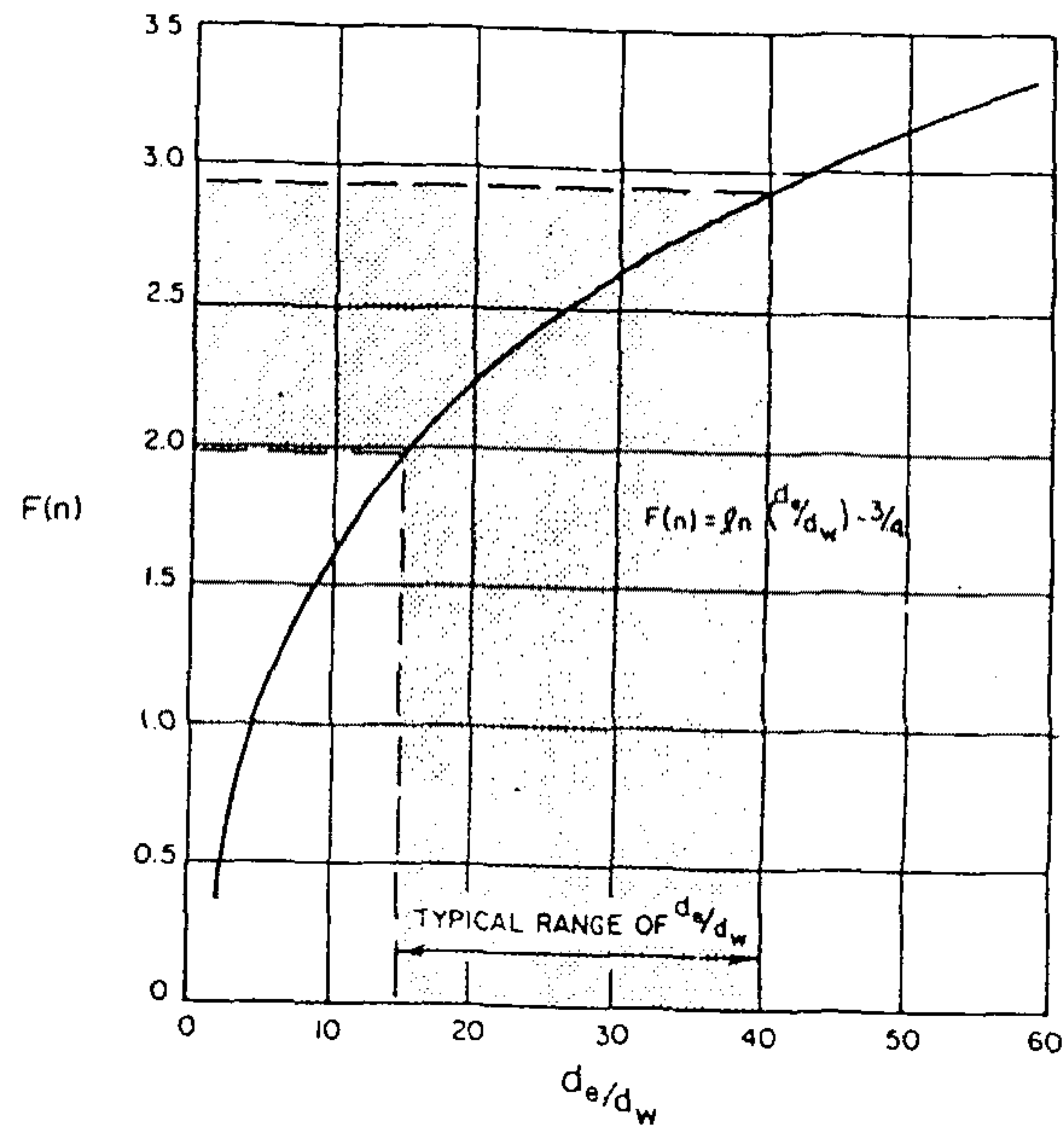


그림-29 PD재의 타설 간격의 영향, F(n)

값을 나타낸 것이고 F(n)은 2.0~2.9의 범위를 나타낸다(Rixner 등, 1986).

Hansbo(1979)는 스미어존이 간극수 배제속도에 미치는 영향을 다음식과 같이 제안하고 있다.

$$F(s) = ((k_h/k_s) - 1) \ln(d_s/d_w) \quad (15)$$

여기서 d_s 는 스미어존의 직경이다.

Rixner등(1986)은 스미어존이 간극수 배제속도에 끼치는 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)=1~3인 것을 보고하고 있다.

Madhav, Park and Miura(1993)는 스미어존의 실측치에 근거하여 PD재의

특성을 고려한 2층 스미어존 모델을 제안했다. 그림-30에는 모형 맨드렐 타설에 의한 주위지반의 교란범위 및 투수계수의 저하치를 맨드렐로부터 떨어진 거리에 대하여 나타냈고, 그림-31에는 수치해석을 위한 스미어존 모델을 나타냈다.

이와 같은 현상은 드레인 설치장비로서 PD재를 지반중에 타설할 경우에도 발생하며 그림-32에는 스미어존의 발생이 없는 경우(no smear zone), 1개의 스미어존이 발생하는 경우(1 smear zone) 및 두층의 스미어존이 생기는 경우(3 smear zone)의 해석결과를 비교했다.

여기서 1 smear zone은 스미어존이 PD재 유효폭 a_c 의 3배인 경우이며, 이 영역에서 투수계수 k_s 는 불교란존의 k_c 인 50%인 경우이다. 2 Smear Zone의 경우는 실추결과에 의거하여 불교란 존 k_c 값의 외부존인 k_{so} 는 50%, 내부존인 k_{si} 는 20%인 경우이다. 이 경우 간극수의 배수지연현상은 현저하며 50% 간극수를 배수하는데 상당하는 T_{h50} 은 스미어존이 발생않는 경우의 3.3배에 달한다.

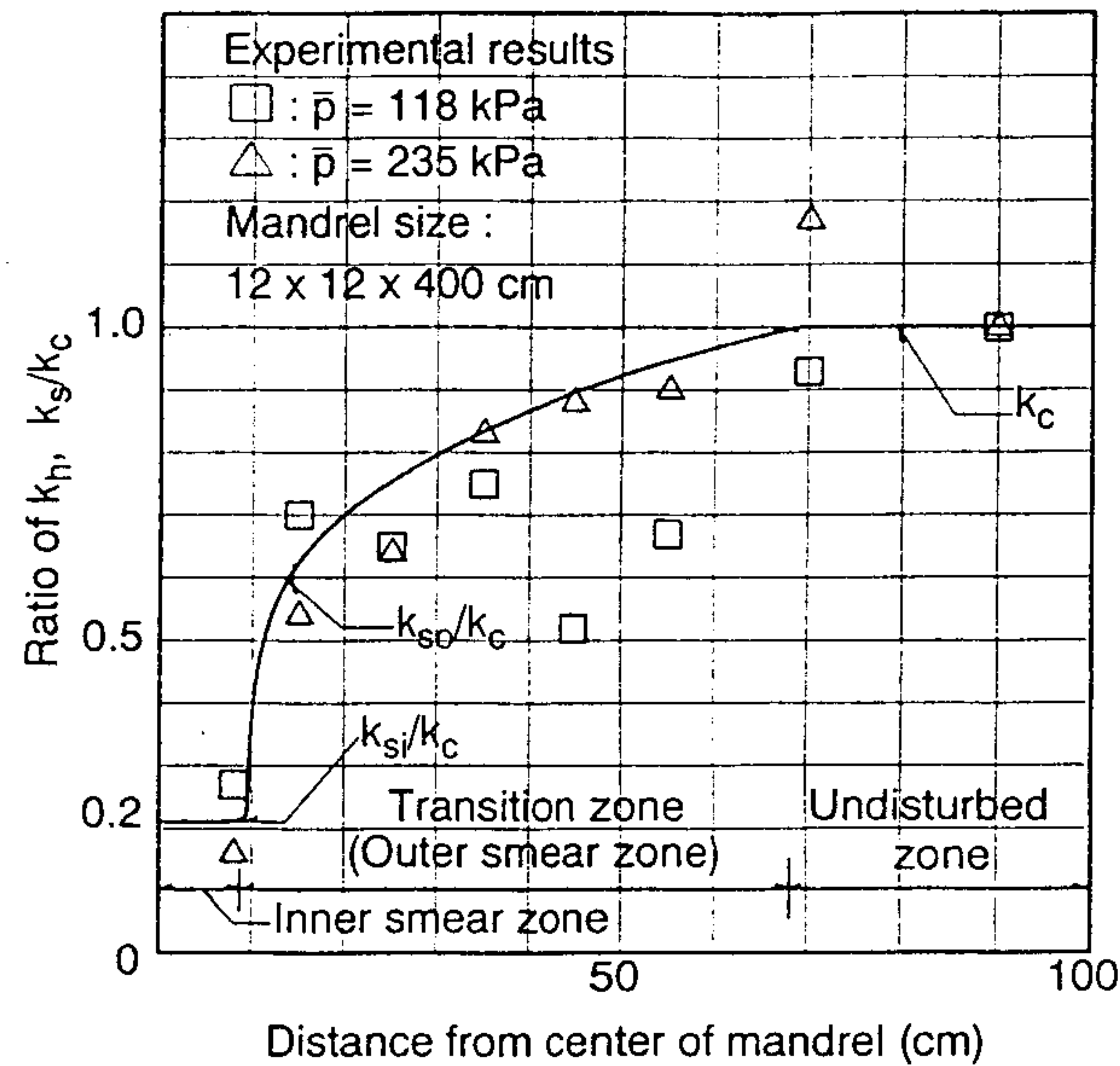


그림-30 맨드렐 타입에 의한 교란범위 및 투수계수의 저하

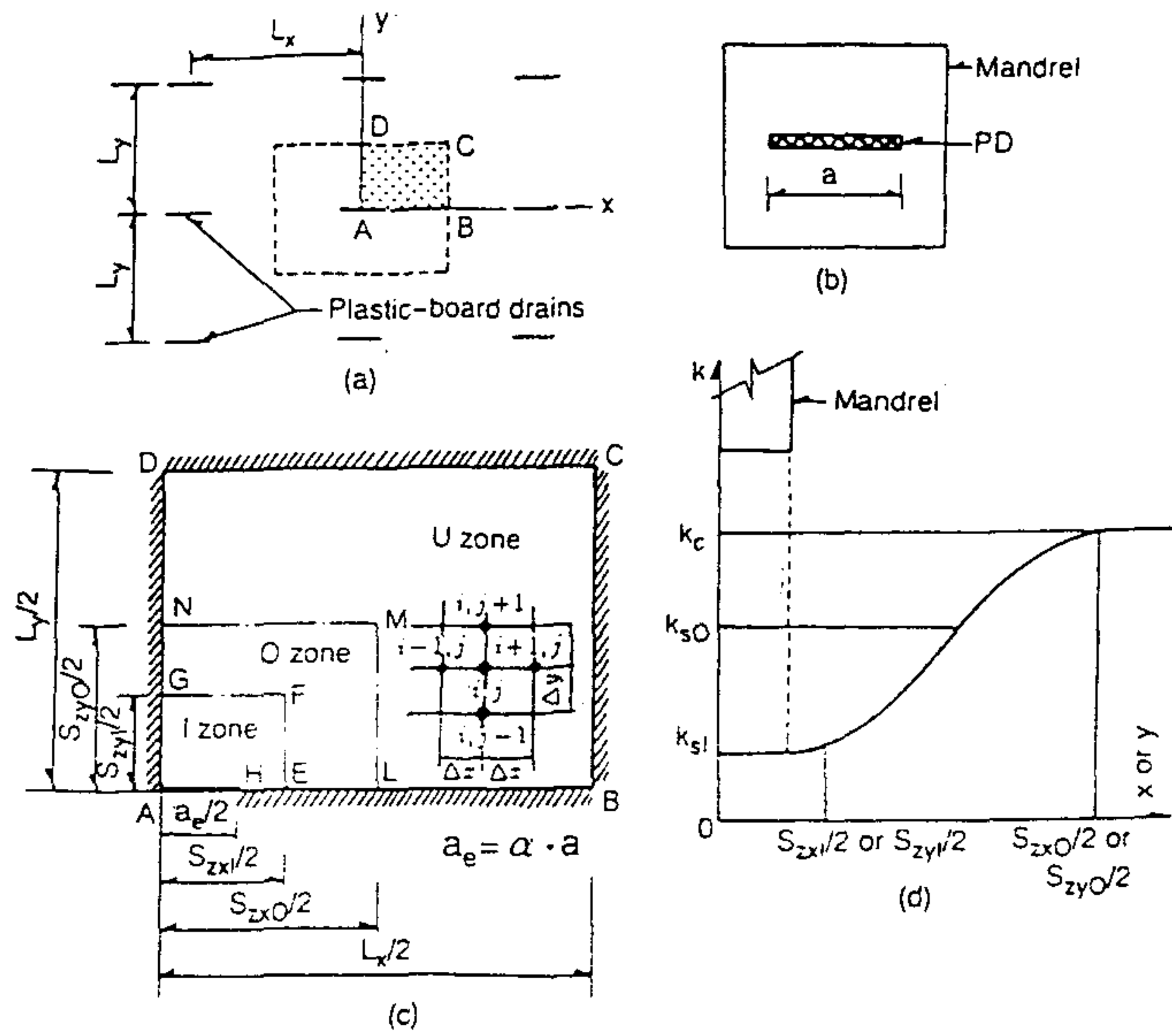


그림-31 2층 스미어존 해석 모델도

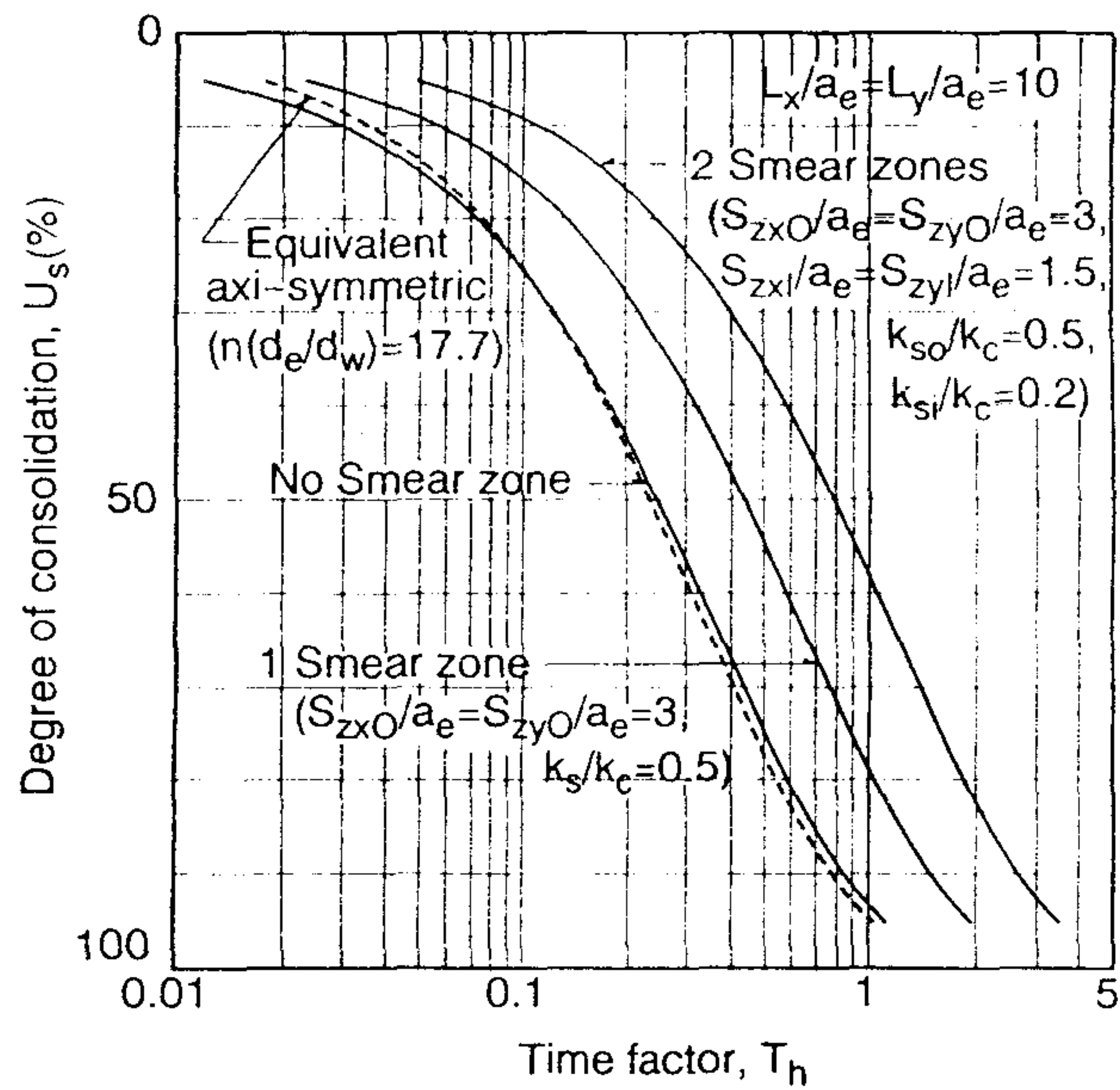


그림-32 스미어존에 의한 간극수의 배제 속도의 변화

이상의 해석 결과에서 볼때 PD재의 타설을 위한 쟁기 작업으로 생기는 스미어존이 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 끼치는 여러 요인이 발생한다.

즉, PD재의 크리프 변형의 영향, PD재속에 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 관한식은 Pradhan 등(1991)이 다음과 같이 제안 하고 있다.

$$Q_{req} = \epsilon_f \cdot U_h \cdot F_s \cdot L \cdot \pi \cdot c_h / (4 \cdot T_h \cdot 86,400) \quad (16)$$

ϵ_f 는 토양중 간극수 배제에 기인된 흙의 압출량($0.25(h+h')$), U_h : 간극수 배제도, F_s : 안전율(=2), L : PD재의 길이 및 c_h : 수평방향의 압밀계수 (cm^2/day)이다.

이들의 결과에 의하면 점토지반에서는 $Q_w > Q_{req}$ 로 되어 문제가 없는 것으로 판단되나 실트 이상 조립재로 형성된 저습담의 경우에는 $Q_w < Q_{req}$ 가 우려될 우려도 있으나 자세한 사항은 2차년도(1996)에 언급하기로 한다.

PD재의 유로의 통수능력 Q_w 가 유한인 경우 Hansho(1979)는 물의 흐름에 Darcy의 법칙을 적용하여 웰 레지스턴스의 영향을 다음과 같이 나타냈다.

$$F(r) = \pi Z(L-Z) (k_h/Q_w) \quad (17)$$

여기서 z : PD재의 배수거리, L : 한쪽방향 배수인 경우이기 때문에 PD재의 전길이, k_h : 저습담 지반의 수평방향 투수계수, Q_w : PD재의 통수능력이

다. 한편 吉國(1979)는 Barron의 식을 근거로하여 웰 레지스턴스를 고려한 간극수 배제도 U_s 의 근사해를 제안했다.

$$U_s = 1 - \exp\left(\frac{-8}{F(n) + 0.8L_{CWR}} T_h\right) \quad (18)$$

$$F(n) = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln n - \frac{3n^2}{4n^2} \quad (19)$$

여기서 PD재의 유로의 투수계수를 k_w , PD재 길이를 L 로 하여 웰레지스턴스계수 L_{CWR} 를 다음과 같이 산정했다.

$$L_{CWR} = \frac{32k_c}{\pi^2 k_w} \left(\frac{L}{d_w}\right)^2 \quad (20)$$

표-10 웰 레지스턴스 산정조건 및 산정 결과

Length of PD L (m)	κ_w (cm/sec)			κ_c (cm/sec)	d_w (cm)	Coefficient of well resistance, L_{CWR}			Remark
	Max.	Min.	TF			Min.	Max.	TF	
5	27.6	1.1	0.08	1×10^{-7}	5	0.0001	0.0030	0.0405	Usual length of PD, L= 10~20m in Japan
10	27.6	1.1	0.08	1×10^{-7}	5	0.0005	0.0118	0.1621	
20	27.6	1.1	0.08	1×10^{-7}	5	0.0019	0.0471	0.6483	
30	27.6	1.1	0.08	1×10^{-7}	5	0.0042	0.1061	1.4590	
50	27.6	1.1	0.08	1×10^{-7}	5	0.0118	0.2948	4.0529	

식(20)을 이용하여 표-10에 나타낸 조건으로 L_{cwR} 을 계산하면 통수능력이 가장 작은 PD재(TF)의 경우에도 길이 $L=20m$ 까지는 L_{cwR} 이 0.65 정도로 작다. $L=50m$ 에 대해서는 PD재의 최대 L_{cwR} 을 이용하여 식(18)로서 간극수 배제도를 계산하여도 PD재의 타설간격 $n=10\sim30$ 의 경우 $F(n)$ 의 계산치(Rixner 등, 1986)의 $1/6\sim1/9$ 정도이며 실용상 무시 가능하다. 이와 같이 PD재를 재래의 PVC 유공관 및 왕겨등에 의한 맹암거 대신에 사용하여도 배수성능에는 큰 문제가 없으리라 판단되며 2, 3 차년도에 다양한 토질조건을 대상으로 장기 실내 및 현장시험을 실시하여 PD재가 열화하는 경우, Clogging등의 영향을 받는 경우, 배수 및 비배수의 반복작용을 받는 경우에도 능률적으로 배수성을 발휘할 수 있는지의 여부를 집중적으로 검토하여 최종보고서에는 일목요연한 설계·시공 메뉴얼이 작성되게 할 예정이다.

6. 기대되는 성과

가. 기술적 측면

최근의 신소재인 플라스틱그레인(PD)재를 이용하여 저습답의 배수개선에 탁월한 효과를 나타내면 연약지반 및 준설·매립등에도 PD재를 이용한 지반개량이 활성화되어 최신 소재적용에 의한 신기술의 개발보급이 가능하다.

나. 경제적 측면

우리나라 기존의 저습답 12만ha을 완전히 배수개선할 경우 본 연구과제 결과를 적용할 경우 재래식 암거배수공법에 비하여 크게 예산을 절감할 수 있고, 전답윤환재배의 효율성을 제고하는 국외 시장에도 기술의 수출을 기대할 수 있다.

다. 기대효과

저습답의 배수개선으로 농경지의 이용 효율을 향상시켜 농가소득의 증대를 기대할수 있고, 농촌 작업환경을 개선하여 농민의 작업의욕을 고취할 수있다.

7. 문제점 및 건의사항

가. 2차년도(1996년)에도 현장시험과 동시에 다양한 토질조건을 대상으로 한 실내시험의 지속적인 실시가 바람직 하다고 사료됨. 또한 배수·비배수의 반복 작용 및 clogging 현상등에 의해서 장기적인 관측에 의해 PD재의 기능 저하가 예상되므로 그에 관련된 연구를 수행하기 위해서는 장기간의 통수시험의 실시가 바람직함.

나. 드레인 타설장비는 고안·제작하였으나, 트랙터(대동 35마력)에 부착하여 타설하는 것으로 계획하였기 때문에 내륙지의 답에서는 적합하다. 그러나 서남해안 연약저습지에 타설할 경우에는 트랙터의 바퀴(Wheel)수를 늘려서 접지압을 줄이거나 무한궤도형(Crawel type)으로 바뀌어야만 적용이 가능하리라 판단되므로 이에 대한 추가 연구가 불가피함.

다. 드레인 타설장비의 현장에 적용의 단계에서 문제점이 유발될 시에는 개선이 필요하고, 기존의 판상형의 PD재를 원형으로 개조할 시 원형단면에 적합한 드레인 타설장비의 부분 수정이 필요함과 동시에 트랙터의 바퀴개조등의 연구가 수행될 경우 장기간 트랙터를 임대해서 사용해야 하므로 이에 대한 예산편성이 필요함.

라. 2차년도(1996년)에 시행할 현장시험을 내륙지 저습답 1개소와 서남해안 연약저습지 1개소를 대상으로 실시하여 그 결과를 분석하는 것이 합리적이라

고 판단됨.

마. 본연구와 병행하여 답의 대구획화 계획에 대비 지표잔류용 배수관을 매설하여 이를 지하배수로에 접속하고 평상시에는 배수개선으로 이용하고, 한발시에는 지하관개용으로 이용될수 있는 연구가 필요함.