

## PBD의 배수특성과 대심도 지반개량

### Discharge Capacity of PBD and Deep Soft Soil Improvement

구본효<sup>1)</sup>, Bon-Hyo, Gu

<sup>1)</sup> 삼성물산 항만팀 차장, Samsung Corporation, Civil Department, Port Construction Team

**SYNOPSIS** : Discharge capacity of PBD is the most important factor of specification items to control any product of PBD. There is no standard specification for the PBD. Because the degree of discharge capacity is related to well resistance, install depth, maximum strain etc in the field. Discharge capacity test of PBD, permeability test of filter are conducted using PBD materials used in Korea. This paper proposes the critical discharge capacity for deep PBD under condition of non well resistance based upon their test and theoretical calculation. It was found that discharge capacity more than about 10 cm<sup>3</sup>/sec is enough to undergo designing of deep PBD without well resistance.

**Key Words** : Discharge Capacity, PBD, Soil Improvement

#### 1. 서론

대심도 연약지반 개량시 경제적이며, 시공성이 우수한 사유로 PBD에 의한 연약지반 개량공법이 많이 사용되고 있으며, Vertical Drain 공법의 성공적인 수행을 위해서는 압밀 기간동안 배수기능의 유지가 반드시 필요하다고 하겠다. PBD 공법은 사용하는 재료에 따라서 지반개량 효과에 크게 차이가 나므로 본 연구에서는 국내에서 많이 적용되고 있는 대표적인 PBD에 대하여 배수성능 시험을 실시하고 그 특성을 분석하며, 아울러 부산신항만과 같이 50m에 달하는 대심도의 PBD에 대해서 소요 통수능력을 산정하여 PBD의 적절한 통수능력을 제안코자 하였다.

#### 2. PBD에 요구되는 특성

PBD에는 다음과 같은 8가지의 조건이 구비되어야 하는 것은 일반적으로 잘 알려져 있는 사실이다. ① Drain재가 종방향으로 충분한 통수능력을 가질 것 ② 지반변형에 따라서 Drain재가 변형하여도 종방향의 통수능력을 유지할 것 ③ 토압에 의해서 변형이 생겨도 종방향의 통수능력을 유지할 것 ④ Filter의 눈막힘이 생기지 않을 것 ⑤ Filter가 파손되지 않을 것 ⑥ Filter가 토압과 시간경과에 따라서 늘어나지 않을 것 ⑦ Core가 꺾여지지 않을 것 ⑧ 지반 속에서 열화가 없고 장기간 안정된 성능을 유지할 것. 그 중에서도 "PBD 주변지반으로부터 밀려나온 물은 Filter를 통해서 PBD의 通水溝로 신속하게 들어와야 할 것", "PBD의 종방향으로 충분한 통수성능을 압밀 기간 중에 유지시킬 것" 등이 가장 중요하다 이와 같은 구비조건을 반영하여 현재 유통되고 있는 PBD는 通水溝를 형성하는 종방향의 돌출부와 Filter가 선 접촉 하도록 되어 있고 PBD의 Filter와 Core가 면접촉 하는 구조는 현재 거의 유통되지 않고 있다. 이와 같은 PBD의 기능을 확보하기 위한 품질관리 기준은 투수성, 강도, 유효구멍크기 등으로 제한되나, 제정기관에 따라 구체적인 수치는 달리 적용되고 있다.

#### 3. PBD 특성확인 시험

##### 3.1 통수능력 시험

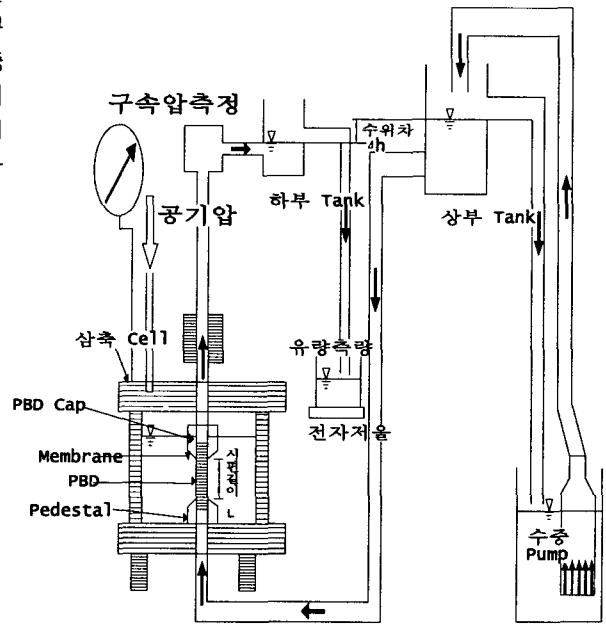
국내에서 사용되는 대표적인 PBD 제품에 대하여 실시한 시험의 종류와 방법은 아래와 같으며, 시험에 사용된 PBD는 <표 3.1>과 같다.

<표 3.1> 시험에 적용된 PBD 제품

시료명(제품명)	무게(g/m)	두께(mm)	형태
VD808	104	3.4	하모니카형, 골수 29
VD810	126	4.0	하모니카형, 골수 29
VD820	141	4.5	하모니카형, 골수 39
Kolon Drain	-	-	하모니카형
FD747	-	-	요철형
MD88	-	-	하모니카형, 골수 28
CX1000	-	-	Filament

실물의 PBD 시료에 대하여 대형의 3축 Cell을 이용하여 장기 통수시험을 실시하였으며, 그 때의 구속압은 350kPa 혹은 490kPa로 설정하였다. 시료의 축변형율은 0%와 30%로 하며, 시험장치 시스템도 및 시험방법은 아래와 같다. 시험 조건은 <표 3.2>과 같이 실시하였으며, 시험결과 이하의 특징을 알 수 있었다

- ①Plate 형상의 Drain 공시체의 치수 : 길이 20cm, 폭은 실치수
- ②Cap과 Pedestal홈에 Drain보드를 10mm 삽입한다.
- ③Plate 형상의 Drain을 두께 0.3mm의 Membrane으로 감싼다.
- ④초기 구속압 5kPa(0.05kgf/cm<sup>2</sup>)를 가하고 Plate형 Drain의 밑에서 위로 통수하여 포화시킨다
- ⑤구속압( $\sigma_c$ ), 동수구배( $i = \Delta h/L = 0.5$ )를 일정하게 유지하며 1분간 유량을 측정하여 통수량( $Q$ (cm<sup>3</sup>/sec)) 및 투수계수  $k$ 를 구한다.
- ⑥구속압을 증가시키며 5, 120, 300, 350, 490 kPa에서 통수시험을 실시한다. 최대 구속압에 도달하면 이 구속압을 유지하면서 장기 통수 시험을 실시한다.

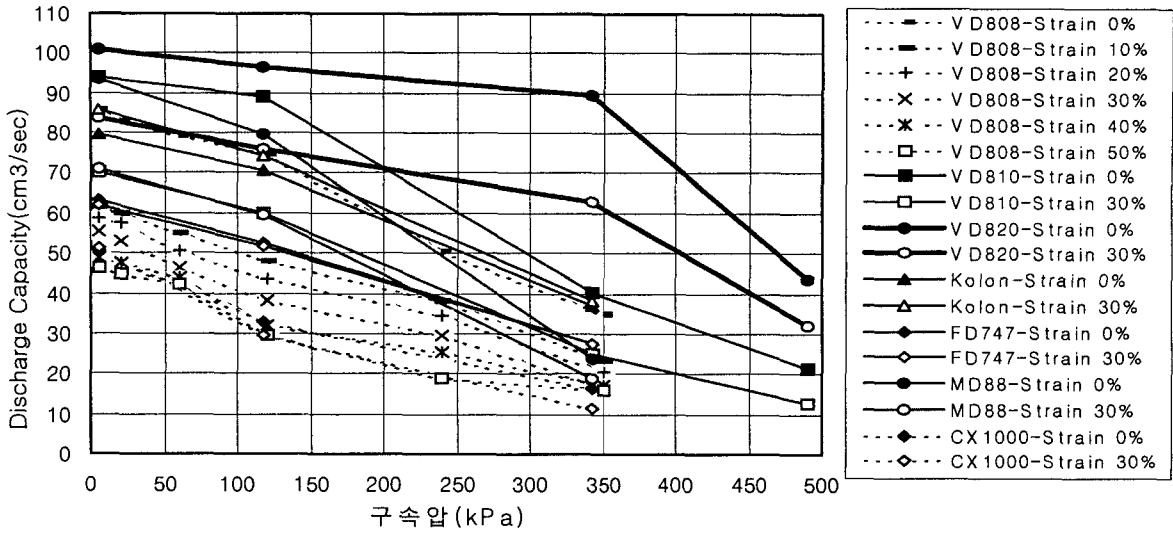


<그림 3.1> 통수시험 시스템도

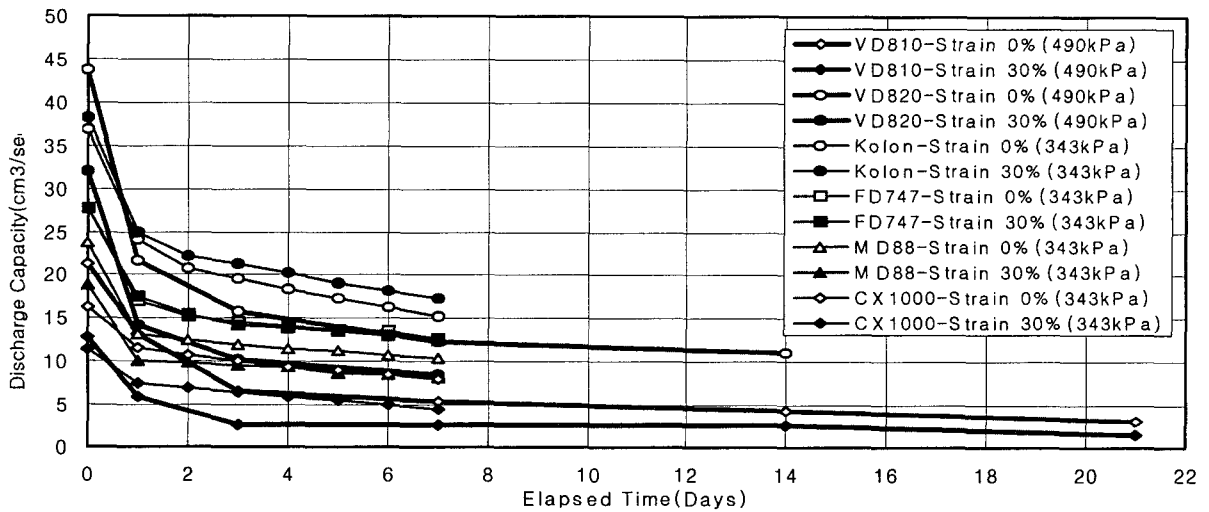
<표 3.2> 통수능력 시험조건

PBD명	VD808					VD810		VD820			Kolon D		FD747		MD88		CX1000	
축변형률(%)	0	10	20	30	40	50	0	30	0	30		0	30	0	30	0	30	0
구속압(kPa)	350					490		343	490	343	490	343						
통수시간(일)	1					21		14	14	7	7							

시험결과 구속압의 증가에 따라 통수량은 감소한다. VD810과 VD820을 제외하면 대부분의 재료는 350kPa의 구속압 하에서 10~40cm<sup>3</sup>/sec의 값을 보이고 있다. 또한 변형율이 커짐에 따라서 배수성능은 점차 감소하고 있는 것을 알 수 있으며, 구속압에 의한 통수량의 감소비율은 재료가 다르더라도 거의 유사한 경향 보여 주고 있다. 특히 본 실험에 사용한 재료중 Core가 Filament형인 CX1000은 가장 작은 배수성능을 보여 주고 있다. 장기 통수시험 결과는 <그림 3.3>에서 알 수 있듯이 시험개시후 1일 만에 대폭 감소하며, 그 후에 서서히 감소하는 경향을 보이고 있다. 장기 통수시험은 VD810, VD820은 490kPa의 구속압으로 시험하였으나 다른 재료는 343kPa의 구속압으로 시험하였다. 343kPa의 구속압으로 시험한 재료에 대해서는 변형률 0%, 30%에 관계없이 Kolon D > FD747 > MD88 > CX1000의 대소 관계를 보이며, 490kPa의 구속압으로 시험한 VD810 및 VD820에 대해서는 VD820 > VD810의 관계가 있다. 343kPa 부근의 구속압에서는 변형률에 관계없이 VD820이 가장 크며, CX1000이 가장 작은 통수량을 보이고 있다. 반면에 VD810은 변형률 0%에서는 두 번째로 큰 통수량을 나타내고 있으나, 변형률 30%가 되면 여섯 번째의 크기가 되고 있는 것으로 보아 변형률 효과에 의한 저하량이 타 재료에 비해 크다는 것을 시사하고 있다. 118kPa의 저구속압 레벨에서도 앞서 서술한 경향은 MD88을 제외하고 거의 변화하지 않는다.



<그림 3.2> 구속압의 크기에 따른 배수능력 변화

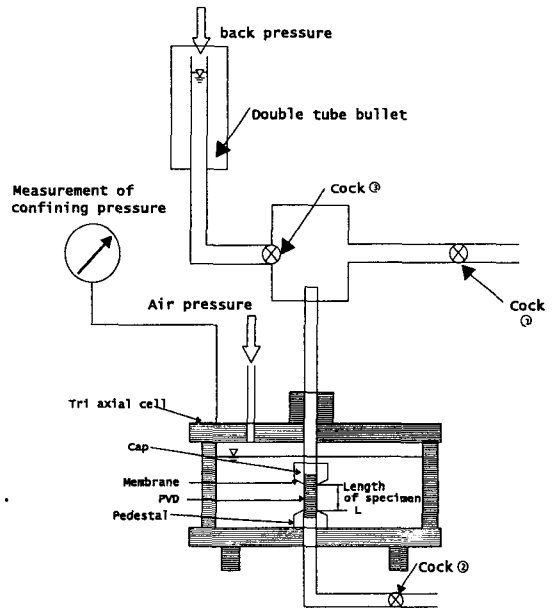


<그림 3.3> 시간경과에 따른 배수능력 변화

### 3.2 체적변화 측정

VD810 및 VD820을 이용하여 통수시험시 적용한 장비에 <그림 3.4>에 나타내는 것처럼 일부 기능을 추가하여 체적 변화 측정시험을 실시하였다.

- ① Plate 형상의 Drain 공시체의 치수 : 길이 20cm, 폭은 실치수
- ② Cap과 Pedestal홀에 Drain 보드를 10mm 삽입한다.
- ③ Plate 형상의 Drain을 두께 0.3mm의 Membrane으로 감싼다.
- ④ 초기구속압 5kPa로 Plate형 Drain의 밑에서 위로 통수하여 포화시킨다.
- ⑤ 공시체의 포화 후, 상하의 통수관을 닫는다(①, ②). 체적변화를 측정하기 위해 이중관 Burette를 설치하여 Burette의 통수 Cock(③)을 연다.
- ⑥ Burette의 수위가 정상이 되는 것을 확인한다.



<그림 3.4> 통수 시험용 시스템

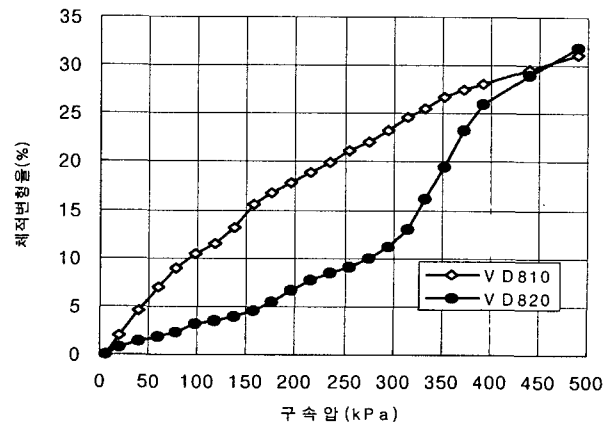
- ⑦구속압 5kPa를 유지하면서 98kPa의 배압을 이중관 Burette에 가해 Burette의 수위가 정상이 되는 것을 확인한다.
- ⑧초기의 Burette의 수위를 읽는다.
- ⑨소정의 구속압으로 올려 Burette의 수위를 읽고서 구속압과 체적변화의 관계를 구한다.

시험결과 <그림 3.5>에서 구속압 300kPa 이하의 조건하에서는 VD820에 발생하는 체적 압축변형은 VD810의 약50% 정도이다. 그러나 구속압이 300kPa 이상이 되면 VD820의 체적 압축변형량도 급격하게 커지며, 490kPa까지 구속압이 증가하면 체적 변형은 VD810의 체적 변형  $\approx$  VD820의 체적 변형이 된다. 앞서 서술한 것처럼 구속압의 변화에 따른 통수량의 관계에서, VD810의 통수량은 구속압이 120kPa를 초과하면 급격하게 저하한다. VD820에서는 360kPa 이상의 구속압에 대해 급격한 통수량의 저하를 일으키고 있다. 체적변형 ~ 구속압의 관계에서도 구속압에 의한 통수량의 저하 경향을 추정할 수 있다.

따라서 VD810과 VD820에 대하여 체적변화 시험을 실시하여 구한 통수량과 구속압의 관계는 어느 정도 합리적으로 발생하고 있음을 알 수 있었다. VD810과 VD820의 Filter 및 Rib의 재질은 유사하며 통수시험 결과에서는 VD820의 통수량<VD810의 통수량 관계를 보였다. 따라서 높은 구속압 조건에서는 VD820의 우위성이 명확하지만, VD820의 구속압이 490kPa가 되면 급격하게 통수량이 감소하는 특성이 있다.

<표 3.3> PBD의 개략적인 형상

PBD		VD810	VD820
외형	폭(mm)	100	97.5
	두께(mm)	3.8	4.2
홈	폭(mm)	3.2	2
	깊이(mm)	1.5	1.6
	수	56	76
통수면적률(%)		70.7	59.4



<그림 3.5> 구속압에 따른 체적변형을 변화

통수면적률을 보면 VD810의 통수면적이 크기 때문에 VD820에 비해 통수능력이 높을 것으로 예상하였지만, Rib의 강성이 거의 유사하여 Rib의 간격이 좁은 VD820이 전반적으로 양호한 특성을 보이는 것으로 판단되었다. 그러나 구속압이 크게 작용함으로써 VD810 및 VD820의 통수면적이 축소되기 쉽다는 점을 들 수 있으며, 이 감소의 이유로서 Rib가 항복 혹은 좌굴하여 Rib의 높이가 감소함과 동시에 옆으로 전도됨으로써 한쪽에서는 홈이 막히고 다른 한쪽에서는 홈이 확대되어 Filter의 처짐이 커진 것으로 예상된다.

#### 4. Kamon 식에 의한 PBD의 통수량

Barron의 압밀도 산정식에 최종 변형률을  $\epsilon_f$ 라 하고, Well Resistance계수와 압밀도의 관계식인 Yoshikuni식을 도입하면, 어느 시간까지의 지표면에서의 통수량은 식(4.1)이 된다.

$$Q = \frac{\pi}{4} \cdot d_e^2 \cdot \epsilon_f \cdot H \cdot U = \frac{\pi}{4} \cdot d_e^2 \cdot \epsilon_f \cdot H \left\{ 1 - \exp\left( - \frac{8}{F(n) + 0.8L} \cdot \frac{C_h \cdot t}{d_e^2} \right) \right\} \quad (4.1)$$

여기서 양변을 시간 t로 미분하고, t = 0일 때의 단위시간당 유량을 통수량으로 정의하면 식(4.2)가 얻어지며, 통수량에 대한 안전율 Fs를 도입하여 식(4.3)을 얻는다.

$$q_w = \frac{2\pi \cdot \epsilon_f \cdot H \cdot C_h}{F(n) + 0.8L} \quad (4.2)$$

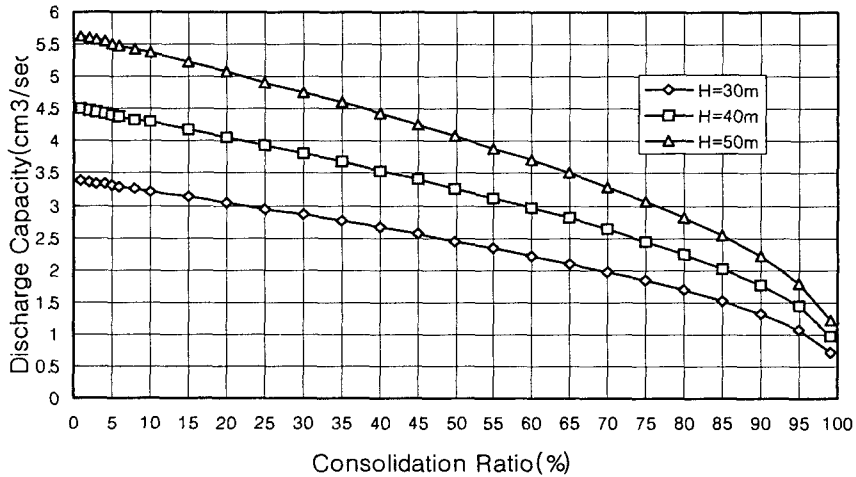
$$q_w = \frac{2\pi \cdot F_s \cdot \epsilon_f \cdot H \cdot C_h}{F(n) + 0.8L} \quad (4.3)$$

식(4.3)은 통수량을 구하는 일반식이 되나 Kamon들은 압축율을 25%, 압밀도 10%로 하는 것이 PBD의 소요 통수량으로서 적절하다고 판단하여 식(4.4)을 제안하였다. 이 식은 압축변형률을 일률적으로 25%, 압밀도를 10%로 했을 때의 관계를 초기에 적용하는 것으로 압밀도 0%인 경우에는 식(4.3)과 일치하게 된다. 식(4.4) 및 식(4.5)를 이용하여 압밀도에 따른 소요 통수능을 PBD 타설간격 1.5m,  $C_h=86.4 \text{ cm}^2/\text{day}$ ,  $\varepsilon_i=0.25$ ,  $F_s=2.0$  조건에서 계산하여 보면 <그림 4.1>과 같다.

$$Q_{req} = \frac{0.25 \cdot 0.1 \cdot F_s \cdot H \cdot \pi \cdot c_h}{4T_h} \quad (4.4)$$

$$T_h = -\frac{F(n) \cdot \ln(0.9)}{8} \quad (4.5)$$

식(4.4)는 압밀 침하속도는 압밀 초기에 크다는 점을 고려한 것으로 초기에 Well Resistance를 발생시키는 일이 없다면 서서히 압밀속도는 늦어지며, 배수속도도 늦어지기 때문에 PBD에 대한 배수성능의 부담이 감소하게 된다. 이러한 Kamon들의 식은 PBD의 배수성능은 압밀초기의 배수속도로 규정된다는 것에 착안한 것이다. 총적 점성토의 압밀 침하량은 경험적으로 총적점성토 두께의 10~30%정도라는 점에서 25% 변형률이 대표치로서 통수량 식에 적용되었다. 결국 <그림 4.1>의 압밀도 10%인 경우의 계산치인 3.2~5.4  $\text{cm}^3/\text{sec}$ 를 소요 통수량으로 보는 것이 적절하다고 Kamon들은 제안하고 있으며, 이 식은 Barron식을 근거로 하고 있으므로 Well Resistance를 고려하지 않은 통수량이 된다.



<그림 4.1> 압밀도와 배수성능관계 (PBD 간격 1.5m)

## 5. 통수량과 압밀도

동수구배를 1로 했을 때의 통수량  $q_{wc}$ 에서 PBD의 통수성능을 정의하면 식(5.1)이 된다. 그래서 Well Resistance계수  $L$ 은 식(5.1)을 적용하면 식(5.2)가 된다. 동수구배 1일 때의 통수량  $q_w$ 를 이용하면 Kamon의 산정식에서 통수량  $q_w$ 는 식(5.3)으로 나타내어진다.

$$q_{wc} = \frac{\pi}{4} \cdot d_w^2 \cdot k_w \cdot i \quad (5.1)$$

$$L = \frac{32}{\pi^2} \cdot \frac{k_c}{k_w} \left[ \frac{H}{d_w} \right]^2 = \frac{8}{\pi} \cdot \frac{k_c H^2}{q_{wc}} \quad (5.2)$$

$$q_w = \frac{2\pi \cdot F_s \cdot \varepsilon_f \cdot H \cdot C_h}{F(n) + 0.8L} = \frac{2\pi \cdot F_s \cdot \varepsilon_f \cdot H \cdot C_h}{F(n) + \frac{6.4}{\pi} \cdot \frac{k_c \cdot H^2}{q_{wc}}} \quad (5.3)$$

설계의 압밀 침하계산에서는 24개월에 약 5.5m의 침하가 발생되는 지역에 상기 관계식을 이용하여

$q_w$ 의 크기에 따른 압밀도 지연 정도와  $q_w$ 의 상관관계를 구하여 보았다. 계산에 적용한 조건은 <표 5.1>과 같다. 압밀도는 1, 5, 10, 15, 20 개월 경과한 시점에서 Barron 식으로 각각 검토하였다.

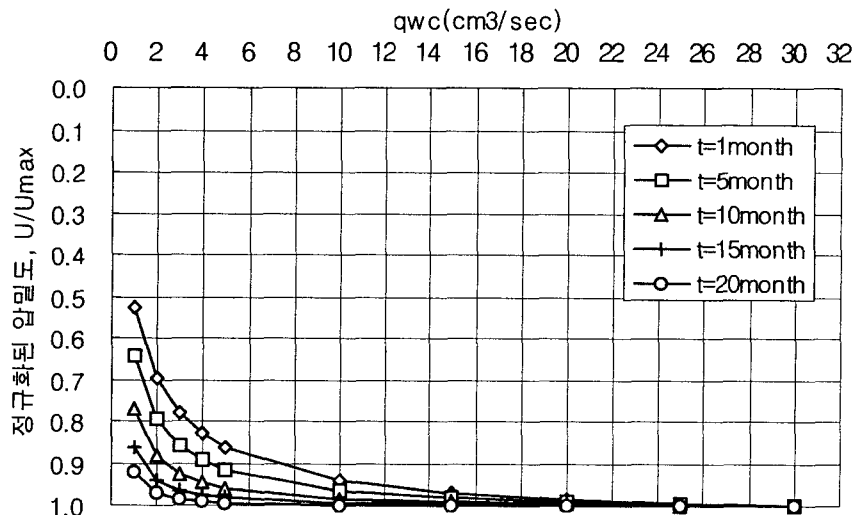
<표 5.1> 통수량 계산을 위한 조건

항목	계산조건
개랑지반두께	H=38.7m
투수계수	kc=1*10 <sup>-7</sup> cm/sec
압밀계수	Ch=86.4 cm <sup>2</sup> /day
PBD 간격	d=1.5m, 정방형 배치
PBD 유효경	dw=5cm
최종침하량	Smax=5.5m
최종변형율	$\epsilon_r=5.5/38.7=0.142$
최종침하 소요시간	24개월

<표 5.2> qwc와 qw 관계

qwc(cm <sup>3</sup> /sec)	L	qw(cm <sup>3</sup> /sec)
1	3.814	1.185
2	1.907	1.605
3	1.271	1.820
4	0.953	1.951
5	0.763	2.039
10	0.381	2.241
15	0.254	2.317
20	0.191	2.357
25	0.153	2.382
30	0.127	2.399

<그림 5.1>은 동수구배  $i=1$ 로 했을 때의 통수량  $q_w$ 에 따른 압밀지연 효과를 정규화한 것으로  $q_w$ 가 커지면 압밀도는 증대하는 경향이 있음을 보여 주고 있다. 즉 동구수배 1인 조건에서의 통수량  $q_w$ 가 큰 경우는 Well Resistance가 작다는 것을 의미하며, 동일한 기간에서 압밀도가 크게 나타난다. 또한 <표 5.2>에서 알 수 있듯이 관리기준 통수량  $q_w$ 도 달라짐을 알 수 있다. 특히 압밀이 많이 진행된 경우에는  $q_w$ 의 크기가 압밀도에 큰 영향을 주지 않으며,  $q_w$ 가 10 cm<sup>3</sup>/sec 이상이 되면 압밀도는 거의 동일한 것을 알 수 있다. 그림에서 변곡점이  $q_w = 2\sim4$  cm<sup>3</sup>/sec 부근에 있으므로, 이것보다 작은 통수량의 범위에서는 압밀에 끼치는 통수량의 영향은 크다. 그러나 이 변곡점 이상의 통수량에서는 압밀에 끼치는 통수량의 영향은 작아진다. 이상의 결과에서 Well Resistance의 영향은 동수구배 1의 통수량이 10cm<sup>3</sup>/s 이상이라면 층두께가 40m라도 거의 침하속도에 영향을 끼치지 않게 된다는 것이 명확하게 밝혀졌다. 따라서 이 조건을 만족한다면 거의 Well Resistance의 영향은 없다는 이론적인 결론을 내릴 수 있다.



<그림 5.1> 통수능과 Well Resistance 관계

## 6. PBD 설계와 소요 통수량

PBD에 의한 대심도 지반개량 사례로부터 Smear효과 및 Well Resistance 압밀 지연을 고려하는 경우와 고려하지 않는 경우의 소요 통수량에 대해서 각각 검토하였다. <표 6.1>은 대상 지역의 토질특성과 압밀계산에 이용된 Smear효과 계수  $F(s)$ 와 Well Resistance계수  $F(r)$  값을 보여 주고 있다. 여기서는 PBD의 환산직경을 5cm로 하고 있으므로  $F(n)$ 은 2.777이 된다. 계산시 원지반고는 DL-2.0m, 지하수위 DL+0.953m, 성토고 DL+12.0m를 각각 적용하였다.

<표 6.1> 토층별 물성치와 압밀저항 계수

층명칭	층두께 (m)	$\gamma_{sat}$ (tf/m <sup>3</sup> )	압축지수 $C_c$	압밀계수 $c_v$ (cm <sup>2</sup> /d)	최종침하량 (m)	투수계수 $\times 10^{-7}$ cm/s	z (m)	F(r)	F(s)
S1	H <sub>1</sub> =12.6	1.71	0.61	86.4	S <sub>1</sub> =2.404	1.0	19.35	0.118	1.569
S2	H <sub>2</sub> =10.8	1.68	1.03	86.4	S <sub>2</sub> =1.609	1.0	13.05	0.105	1.569
S3	H <sub>3</sub> =15.3	1.72	0.92	86.4	S <sub>3</sub> =1.492	1.0	7.65	0.075	1.569
계	38.7	$\gamma_w=1.02$			5.505				

S1, S2, S3의 각 층마다 층별 압축량 결과를 이용하여 층별 평균 연직변형률을 계산하였다. 또한 전 층의 평균 연직 변형률은 (총침하량/총층두께)로 정의한다. 침하량은 Barron식을 기초로 하여 침하한 분만큼 PBD의 표층에서 물이 지상으로 배출되어야 한다. 따라서 각 층에서의 배수량이 소요 통수량이 된다. 즉 소요 통수량,  $Q = \pi / 4 \cdot de^2 \cdot (\text{해당층 상부에서의 침하량}, \Delta S)$  이다.

Barron식에서 F(r) 및 F(s)는 아래와 같이 적용 하였다.

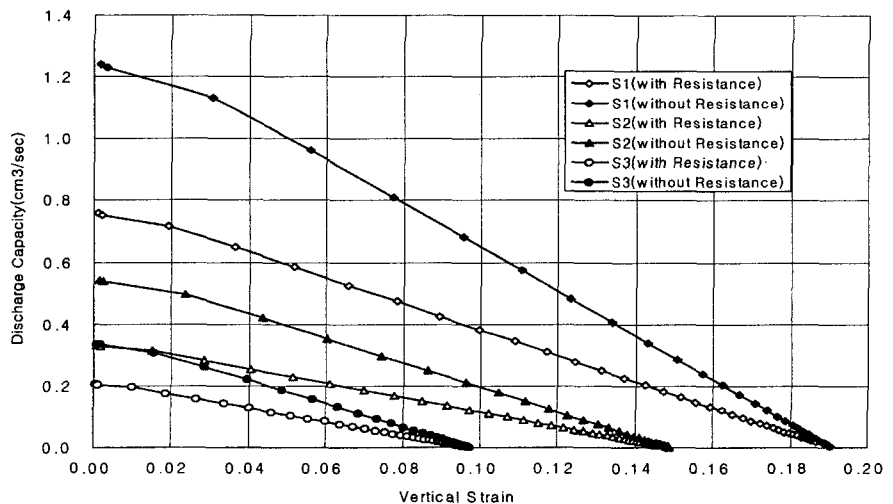
$$F(r) = \pi \cdot z \cdot (L - z) \cdot \frac{K_h}{q_w} = \pi \cdot z \cdot (3870 - z) \cdot \frac{0.0000001}{10} \quad (6.1)$$

$$F(s) = \left\{ \frac{K_{sh}}{K_s} - 1 \right\} \cdot \ln \left( \frac{d_s}{d_w} \right) = (2 - 1) \cdot \ln \left( \frac{24}{5} \right) = 1.569 \quad (6.2)$$

여기에서 Z:PBD 끝단에서의 길이, L:단면배수인 경우에는 PBD 길이, 양면배수인 경우에는 PBD 길이의 2배, Kh:비교란 원지반의 수평방향 투수계수, qw:동수경사 1인 경우의 통수량(10cm<sup>3</sup>/sec로 가정), Ksh:교란 지역의 수평방향 투수계수, Ks:교란 지역의 투수계수, ds:SmearZone의 직경, dw:Drain의 유효경 이다. 이러한 관계를 고려하여 침하량의 경시변화로 부터 단위시간당 유출량으로서 통수량을 구한 것이 <그림 6.1>이다. 그림의 x좌표는 축변형률로 경시변화를 나타내고 있는 것으로 볼 수 있다. 따라서 압밀변형률과 대응하는 시간별로 각각 통수량을 얻게 된다.

<그림 6.1>에서 통수량은 압밀 변형률의 증대에 따라 감소해 간다는 것을 알 수 있으며 재하 직후 최대 통수량이 된다. 그림에서 확실히 압밀지연을 고려하지 않는 조건의 통수량이 크다는 것을 알 수 있다. 그리고 양 조건의 차이는 S1에서 더욱 크며, S2, S3순으로 작아지고 있다. 상기 그림에서 가장 큰 통수량은 S1으로 압밀저항을 고려했을 때 0.75cm<sup>3</sup>/s, 압밀지연을 고려하지 않으면 1.25cm<sup>3</sup>/s 부근이며, 이 때의 구속압은 약 220kPa정도가 된다. 가장 깊은 S3층에 대해서는 압밀지연을 고려하면 0.2cm<sup>3</sup>/s, 압밀지연을 고려하지 않으면

0.34cm<sup>3</sup>/s로, 압밀지연의 고려 여부에 따른 차이는 작다. 그리고 이 층의 구속압은 약 160~380kPa이다. 또한 높은 구속압을 고려해야 하는 하부 심도에서는 Well Resistance 및 Smear 효과를 고려하는 경우와 고려하지 않는 경우의 통수량에는 큰 차이는 발생하지 않는다. 이에 반해 천층부의 저구속압 하에서는 Smear 효과와 Well Resistance 효과의 고려 여부에 따라 통수량은 차이가 발생하게 된다.



<그림 6.1> 수직 변형율에 따른 유출량(PBD 간격=1.5m)

## 7. 소요 통수량 제안

부산신항의 대표적인 지반에 대해서 PBD 타설간격 1.5m의 조건하에서 여러 가지 방법으로 계산한 필요 통수량을 정리하면 <표 7.1>과 같다. Kamon들의 방법은 구속압, 변형률 및 안전율을 고려하고 있으나 동수구배 조건이 애매하여 실내시험에서 재현하기 어렵다. 왜냐 하면 현재의 시험방법은 일반적으로 동수구배가  $i=1$  혹은 0.5에서 실시되고 있기 때문에 Darcy's 법칙을 이용하여, 시험하는 동수구배에 대응하는 통수량을 구하여야 하기 때문이다.

<표 7.1> 여러 가지 방법에 의한 필요 통수량의 산정결과

방법	H (m)	변형률 (%)	최종계산 침하량 $s_r$ (m)	동수구배	안전율 $F_s$	기타 조건	필요 통수량 $q_w$ (cm <sup>3</sup> /s)		
							구속압		
							저	중	고
Kamon	38.7	25	-	-	2	L=0	3.2~5.4		
Well Resistance	38.7	14.2	5.5	1	-	-	10(qwc)		
설계계산	38.7	14.2	5.5	-	-	압밀지연 없음	1.25	0.55	0.34
						압밀지연 있음	0.75	0.35	0.2

부산신항의 지반조건과 PBD 타설조건 및 하중 재하조건을 고려하는 경우 압밀 계산상으로는 1.3cm<sup>3</sup>/sec의 배수성능이면 충분한 것으로 계산되었다. 또한 동수구배 1인 조건에서 Well Resistance를 고려하지 않는 경우의 계산결과도 10cm<sup>3</sup>/sec의 배수성능이면 충분한 것으로 검토되었다. 또한 시험결과 1주일 이내에 통수량의 감소가 대부분 발생하며, 시험조건과 방법에 따라서 현재 유통되고 있는 PBD의 배수 특성이 크게 달라지는 것을 확인 할 수 있었다. 따라서 부산신항만과 같은 지반조건에서 대심도의 PBD 타설로 지반개량을 하는 경우 아래의 조건을 PBD의 배수성능 관리기준치로 보는 것이 적절하며, 아래 기준을 적용할 경우 국내에서 유통되는 제품중 일부는 적절하지 못한 것으로 사려된다.

- 변형률 30%, 구속압 380 kPa, 7일 연속통수, 동수구배  $i=1$ 로 시험하여 평가
- 배수성능 관리치로는 상기조건하의 Delft 시험으로 10cm<sup>3</sup>/sec 이상을 제안
- 통수량 시험 결과에는 Filter의 변형계수가 큰 역할을 하고 있으므로, Delft 방법으로 시험시 품질관리 시험시에는 0.3mm 이하의 두께를 가지는 고무 Membrane을 사용

## 8. 참고문헌

- 1) 木山正明, 임해 매립지반의 공학적 평가와 압밀에 의한 지반개량에 관한 연구, 대판시립대학 박사학위논문, pp. 51-58, 1996.
- 2) M.Kammon, T.B.S.Pradhan, S.Suwa, Laboratory Evaluation of the Discharge Capacity Prefabricated Band-Shaped Drains, The Society Materials Science, Japan, Elsevier Applied Science, pp.23-37
- 3) V.Chae, Bo Mint Win, Quality Assurance of Prefabricated Vertical Drain in Changi Reclamation, Proceedings of International Seminar on Geotechnics in Kochi(ISGK 2000), pp.77-88, 2000.9.
- 4) M.Kammon, S.Suwa, M. Fukuda, K. Chen, Plastic Board Drain의 필요통수량과 Well Resistance, 제4회 지반개량 심포지움(大阪), pp. 160~164, 2000. 11.
- 5) 부산신항만주식회사, 부산 신항만개발 민자부두 1-1단계 개발사업 설계보고서, 1998.