

수도권 매립지 粘土遮水膜의 透水特性 에 관한 연구

洪 相 杓*
金 丁 勛**

〈目 次〉	
I. 序論	III. 首都圈 埋立地 粘土遮水膜의 評價
II. 粘土遮水膜의 透水特性	IV. 結論

I. 序論

廢棄物은 地理, 기후, 자원등의 특정여건 속에서 그 사회의 경제적, 과학기술적, 문화적, 사회적 및 정치적 발전 정도에 따라 소각, 재활용 또는 매립되어 왔다. 都市化가 진전됨에 따라 폐기물은 생활주변에 더욱 많이 생기게 되었고, 사람들은 폐기물 처분에서 초래되는 公害를 절감하게 되었다. 그리고 폐기물 관리의 부적절함 때문에 경제활동에 장애가 초래되고 있으며, 政治 및 行政이 民主化됨에 따라 폐기물 처분의 質的 향상을 요구할 수 있게 되었다.

폐기물 埋立의 가장 큰 문제의 하나는 浸出水에 의한 주변 환경의 오염이다. 매립지의 遮水膜은 침출수의 毒性溶存物質 및 부유물질을 경감, 흡수 및 분해시켜 농도 및 독성을 許容可能水準으로 낮출수 있게 충분한 기간동안 누출을 방지할 수 있어야 한다. 플라스틱, 고무 및 아스팔트 같은 합성차수막(flexible-membrane linings)은 불투수성 토양이 충분치 못한 곳에서 쓰여 왔으나, 손상을 입을 경우 쉽게 누출되는 단점이 있다.^{1,2)} 침출수의 외부 누출을 보다 안전하게 막기 위해 합성차수막과 점토 차수막을 동시에 설치하는 복합 차수막(composite liner)이 이용된다.

매립지의 立地選定 과정에서도 차수막으로서의 특성이 우수한 土壤이 높은 우선순위를 차지

*서울대학교 환경대학원 박사과정

**서울대학교 환경대학원 교수

1) EPA, How to meet requirements for hazardous waste landfill design, construction and closure, 1990, p.11.

2) Harry.M.Freeman et al, "Standard handbook of hazardous waste treatment and disposal", McGraw-Hill Co., 1989, pp.10.24-10.29

한다. 잘게 부순 석회석도 차수막으로서 重金屬의 이동을 차단시키고 있다.³⁾ 그러나 모든 토양 매립지는 궁극적으로 漏出되기 때문에 침출수의 유해성분을 허용가능수준으로 낮추는 것을 목표로 할 수 밖에 없다.⁴⁾

본 논문에서는 점토 차수막에서 오염물질의 移動特性을 살펴 본 후에 수도권 일대에서 발생하는 각종 폐기물을 衛生埋立하기 위하여 1992년부터 운영중인 수도권 매립지의 위생매립 요건중에서 특히 지하수의 오염방지와 관련된 점토차수막 특성을 평가해 보고자 한다.

II. 粘土遮水膜의 透水特性

1. 分子擴散(Molecular Diffusion)

매립지의 완벽한 불투수막에서도 10-30년 정도 지나면 분자확산에 의해 오염물질이 점토 차수막을 통과하게 된다. 확산은 용액속의 용질이 농도 구배에 따라 유동하는 현상이다. 확산은 Fick의 제1 및 제2법칙에 따르는 것으로 보통 간주된다. 다공질 매체가 아닌 free solution에서의 Fick의 제1법칙은 1차원적인 확산을 다음과 같이 나타낸다.

$$\xi = -D_0 \left(\frac{\partial c}{\partial x} \right) \dots\dots\dots(2-1)$$

단, ξ = 이동방향에 수직한 단위면적당의 이동된 질량($ML^{-2}T^{-1}$)

D_0 = free solution의 확산계수(L^2T^{-1})

c = 용질의 농도(ML^{-3})

x = 확산이 일어나는 방향(L)

개별적인 이온 또는 분자의 경우에는, 확산의 원동력을 화학적 potential의 구배로 간주할 수 있다. 그리고, 입자의 제약 속도는 입자의 절대 이동성(absolute mobility)과 그 원동력을 곱한 것으로 정의될 수 있다. 따라서 Fick의 제1법칙은 다음과 같이 Nernst-Einstein식으로 나타낼 수 있다.

$$\xi = -vRT/N \left(\frac{\partial c}{\partial x} \right) \dots\dots\dots(2-2)$$

단, R = 만유 가스 상수($8.134 \text{ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$)

T = 절대온도(K)

N = 아보가드로의 수 ($6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$)

v = 입자의 absolute mobility($LT^{-1}F^{-1}$)

식(2-1)과 (2-2)를 비교하면

$$D^0 = vRT/N \dots\dots\dots(2-3)$$

3) W.H. Fuller, "Liners of natural porous materials to minimize pollutant migration", U. S.EPA 600/S2-81-122, 1981

4) Wallace H.Fuller, "Soils in waste treatment and utilization, vol.2", CRC Press, 1985, p.27

식(2-3)을 제한적 이온 等價전도도와 절대 이동성의 관계식에 결합하면 다음과 같은 Nernst식이 된다.

$$D_0 = RT\lambda^0/(F^2|z|) \dots\dots\dots(2-4)$$

단, F = Faraday(96,490Coulombs)

$|z|$ = ionic valence의 절대값

λ^0 = limiting ionic equivalent conductivity(LT equiv⁻¹)

그리고 식(2-3)을 용매 분자에의 점성저항과 절대 이동성의 관계식, 즉 Stokes 식에 결합을 하면 다음과 같은 Einstein-Stokes식이 된다.

$$D_0 = RT/(6\pi N\eta r) \dots\dots\dots(2-5)$$

단, η = 용액의 절대 점성도(FTL⁻²)

r = 분자 또는 수화이온의 반경(L)

식(2-4)는 자기확산(self-diffusion)계수로 알려진 D_0 의 제약치를 λ^0 값을 알 경우에는 계산을 할 수 있다는 것이다.

용질은 토양속에서는 free solution에서와 같이 빠리는 확산을 못한다. 토양에서 식(2-1)은 다음과 같다.

$$\xi = -(\tau D_0)\theta \partial c / \partial x \dots\dots\dots(2-6)$$

또는

$$\xi = -D^*\theta \partial c / \partial x \dots\dots\dots(2-7)$$

단, τ = 왜곡도(tortuosity factor) (무차원)

θ = 토양의 수분함량 (무차원)

D^* = 유효확산(diffusion)계수(L²T⁻¹)

수분함량은 공극율(θ)과 포화도(S_r)의 곱으로 나타낼 수 있다.

$$\theta = nS_r \dots\dots\dots(2-8)$$

왜곡도는 다음과 같다.

$$\tau = (x/x_e)^2 \dots\dots\dots(2-9)$$

단, x = 흐름 경로의 두점 사이의 직선거리(L)

x_e = 흐름 경로의 두점사이의 실질적 유효거리(L)

Fick의 제1법칙은 안정상태에서의 용질의 flux를 설명한다. 불안정 상태에서는 Fick의 제2법칙이 적용된다.

$$\partial c / \partial t = D^* \partial^2 c / \partial x^2 \dots\dots\dots(2-10)$$

점토 차수막에서의 확산이동만에 의한 용질의 분포는 침출수의 농도가 일정할 경우에 다음과 같이 나타낸다.

$$c/c_0 = \text{erfc}(x/2\sqrt{(D^*t)}) \dots\dots\dots(2-11)$$

단, $erfc$ = complementary error function

2. 移流 移動(Advective Transport)

점토 차수막을 통한 오염물질의 이류 이동은 다음과 같은 Darcy의 법칙에 따른다.

$$v = ki = -k(\partial h / \partial x) \dots\dots\dots(2-12)$$

단, v = Darcy의 속도(L/T)

k = 수리전도도(L/T)

h = 총수두(L)

x = 흐름 경로의 거리(L)

침출속도(seepage velocity, v_s)는 흐름경로의 평균선형속도로서 비흡착성 또는 보존성 물질에서는 다음과 같이 나타낸다.

$$v_s = ki/n_e = -k/n_e(\partial h / \partial x) \dots\dots\dots(2-13)$$

단, n_e = 유효공극률

압축 점토에서의 유효공극률은 0.04-0.08이다.⁵⁾

3. 濃度 輕減

오염물질(용질)은 이동용액(용매)보다 천천히 이동할 수 있다. 토양속에서 오염물질 경감의 원인은 이온교환, 침전, 생물학적 분해 및 방사능 붕괴이다. 비보존성 용질은 출현곡선(breakthrough curve)상에서 늦게 나타난다. 늦게 출현하는 정도를 나타내는 지연계수(retardation coefficient, R)는 다음과 같이 나타낸다.

$$R = 1 + (\rho_d/n)K_p \dots\dots\dots(2-14)$$

단, ρ_d = 토양의 건조밀도(ML^{-3})

n = 토양의 공극률

K_p = 분리계수(partition coefficient) (L^3M^{-1})

분리계수는 토양의 단위질량당 흡착된 용질의 질량과 용액중 용질농도와의 평형관계식이다.

소수성 유기오염물질의 흡착은 다음 관계식을 이용하여 식(2-14)를 이용하면 된다.⁶⁾

$$K_d = f_{oc}K_{oc} \dots\dots\dots(2-15)$$

단, K_d = 선형 등온흡착을 나타내는 분배계수(distribution coefficient)

f_{oc} = 토양중의 유기탄소의 비율(무차원)

5) Horton et al., "Estimating transit time of noninteracting pollutants through compacted soil materials", U.S.EPA/600/9-85/013, 1985, pp.275-282

6) Karickhoff et al., "Sorption of hydrophobic pollutants on natural sediments", Water Research 13(3), 1979, pp.241-248

K_{oc} = 유기탄소의 분리계수

4. 粘土遮水膜 通過時間 豫測

포화대에서의 유체의 수직흐름은 다음과 같다.

$$\Phi(\partial S_w / \partial t) = \partial(K_s k_r(\partial \Psi / \partial z - 1)) / \partial z \quad \dots\dots\dots(2-16)$$

z = 수직 좌표로서 下方으로 양의 값을 갖음

K_s = 포화 수리전도도

k_r = K_s 에 관한 상대적 수리전도도

Ψ = pressure head

Φ = 공극율

S_w = 부분 포화도(포화된 매체 = 1)

t = 시간

위의 식은 침출수내의 용해성 화학물질의 이동을 고려하지 않는다. 비방사능성 용질(nonradioactive solute)의 수직이동은 다음과 같이 나타낸다.

$$\partial(R\Phi S_w C) / \partial t = \partial(D \partial C / \partial z) / \partial z - \partial(vC) / \partial z \quad \dots\dots\dots(2-17)$$

D = 분자확산 및 역학적 분산(mechanical dispersion)을 포함하는 분산계수

C = 액체상의 용질의 농도

z = 수직 좌표로서 하방으로 양의 값을 갖음

v = z 방향의 Darcy 의 속도

R = 점토의 경감용량을 나타내는 지연인자(retardation factor)

위의 식에는 source 및 sink가 포함되지 않았다. 非反應性(conservative) 용질에서 지연인자의 값은 1이다. 포화상태에서 식(2-16)은 정상상태(steady state)로 전환되고 정상상태에서의 Darcy의 속도는 다음과 같이 주어진다.

$$v = - (K_s k_r(\partial \Phi / \partial z - 1)) \quad \dots\dots\dots(2-18)$$

차수막의 윗부분($z = 0$)에서 액체의 압력, 즉 水頭는 impoundment liquid head (= h)와 동일하다. 차수막의 아랫부분에서는 $z = d$ 이다. 차수막이 포화되어 있기 때문에 차수막 아랫부분에서는 압력 수두를 0으로 본다. 따라서, 정상상태의 Darcy의 속도 및 flux는 선형적 수두 구배의 가정하에 다음과 같이 된다.

$$v = K_s(d/h + 1) \quad \dots\dots\dots(2-19)$$

차수막은 포화되었다고 가정하기 때문에 impoundment liquid head가 생기면 곧 침출 flux가 생긴다. 토양의 투수성은 변동이 심하다. 투수율은 침출수의 출현시간(breakthrough time)에 영향을 미친다. 定常상태에서 차수막 윗부분의 침출수가 차수막 아래로 이루어 의해서만 이동하는데 소요되는 통과시간(t)은 $D = 0$, $R = 1$ 로 가정하여 식 (2-2)에 의해 구할 수

있다.⁷⁾

$$t = \Phi d/v = \Phi d/K_s * d/(h+d) \dots\dots\dots(2-20)$$

III. 首都圈 埋立地 粘土遮水膜의 評價

1. 地質 및 土壤

(1) 地質學的 特性

김포 매립지 주변의 암석은 선캠브리아기의 경기편마암 복합체에 속하는 화강암 및 호상편마암이며, 이들 암석은 전반적으로 제4기의 퇴적층에 의해 부정합적으로 덮여있다. 비고결지층은 최상위 지층이 주로 점토와 실트로 구성된 현생 海成기원의 불투수층이 분포하고, 그 하부에는 세립질 모래와 점토 및 각력으로 구성된 충적 및 봉적 퇴적층이 깔려있다. 비고결층 퇴적층 하부에는 호상편마암이나 이를 관입한 각섬석화강암의 풍화대가 분포되어 있으며 최하위층은 호상편마암과 각섬석화강암으로 되어있다.

해성퇴적층은 3.0-18.5m에 이르며 평균 두께는 10.84m 이다. 봉적층은 1.4-4.8m로서 평균두께는 2.82m이다. 충적층은 매립지 일부지역에서만 산출되며 그 두께는 4.0-9.4m 정도이다. 풍화대는 주로 실트질 모래, 점토 및 풍화된 암편으로 구성되어 있으며 그 두께는 2.5-12.8m이며 평균 두께는 4.57m이다(표 3-1 참조).⁸⁾

<표 3-1> 지하지질 분포 상태

구분	해성층	봉적층	충적층	풍화대	암반	시추 깊이
s1	3.0	-	-	3.5	9.4	15.9
s2	14.5	4.0	-	3.8	-	22.3
s3	5.0	3.8	-	5.7	1.9	16.4
s4	5.6	3.4	-	12.8	2.2	24.0
s5	11.6	4.1	-	-	2.1	17.8
s6	18.5	3.0	-	2.5	-	24.0
s7	17.7	3.7	-	2.6	-	24.0
s8	10.8	4.8	-	6.4	2.0	24.0
s9	9.2	1.4	9.4	4.0	-	24.0
s10	12.5	-	4.0	4.4	4.9	26.0

註) s1 - s10: 수도권 매립지의 지질 조사용 試錐 지점

7) Thomas H.Christensen et al., "Sanitary landfilling: process, technology and environmental impact", Academic press, 1989, pp.302-303

8) 수도권 매립지 운영관리조합, "수도권 매립지 종합환경조사 연구보고서"의 부록 '김포 수도권 매립지 제1단계매립지역의 수리지질조사 보고서', 1993, pp.10-16

(2) 水理地質學的 特性

점토 차수막 역할을 하는 최상위층의 해성점토는 3.0-18.5m의 두께에 수리전도도는 2.6×10^{-7} cm/s에서 5.7×10^{-6} cm/s로서 산술평균 수리전도도는 3.6×10^{-6} cm/s이다. 지하수의 주 흐름 방향은 남서남 내지 남향으로 動水勾配(hydraulic gradient)는 0.004-0.011에 이르고 있고 평균 동수구배는 0.0072 정도이다.⁹⁾ 地表面下 지하수위는 0.0-1.64 m 수준이다(표 3-2 참조).

〈표 3-2〉 地下水位 管理網의 地下水位 測定表

구분	지 하 수 위(m)			
	1992.10.8		1992.10.14	
	地表面下	海拔表高	地表面下	海拔表高
s2	0.78	1.851	0.78	1.851
s3	1.90	2.037	1.64	2.297
s4	0.55	3.246	0.64	3.156
s5	0.70	2.537	0.86	2.377
s6	0.83	3.358	1.16	3.028
s7	0.17	2.256	0.48	1.946
s8	0.00	2.536	0.00	2.536
s9	0.64	2.283	0.74	2.183
s10	0.74	2.382	0.74	2.382

註) s2-s10: 수도권 매립지의 지질 조사용 試錐 지점

(3) 海成堆積層의 物理的 特性

실트 함량이 60-80%, 점토 함량이 10-20%, 모래 함량이 10-20%로서 실트 및 점토의 함량은 81.3-99.2%이며 평균은 92.8%로 대체적으로 실트질 점토로 구성된 전형적인 해성퇴적층이다. 함수비는 29.4-34.9%로 평균 34.9%이다. 액성한계(liquid limit)는 40.3%, 소성한계(plastic limit)는 24.95%이고 소성지수(plastic index)는 8.6-27.2%의 범위를 갖는다. 공극률은 45.9-56.3%로 평균은 49.3%이다. 그리고 비중은 2.681이다(표 3-3 참조).¹⁰⁾

2. 粘土遮水膜 通過時間 豫測

식(2-20)의 $t = \Phi d / v = \Phi d / K_s \times d / (h+d)$ 는 역학적 분산과 분자확산 현상을 고려하지 않고서, 定常상태에서 비반응성 물질의 점토차수막 통과시간을 예측하는데 이용될 수 있다(표 3-4 참조).

그러나 실험실과 현장의 수리전도도는 壓縮 방법의 차이(현장에서는 물러로 압축하나 실험

9) 상계서, pp.16-29

10) 상계서, pp.30-32

〈표 3-3〉 構成土質別 含量 및 空隙率

구분	실트 및 점토(%)	모래(%)	空隙率
s1	96.8	3.2	0.487
s2	93.1	6.9	0.491
s3	90.7	9.3	0.459
s4	97.4	2.6	0.494
s5	93.6	6.4	0.493
s6	81.3	18.7	0.459
s7	89.2	10.8	0.468
s8	99.2	0.8	0.563
s9	98.8	1.2	0.538
s10	87.7	12.3	0.475

註) s2 - s10: 수도권 매립지의 地質調査用 試錐 지점

〈표 3-4〉 침출수의 점토 차수막 통과시간 예측

측정지점	공극율	차수막두께 (m)	포화수리전도도 (cm/s)	침출수수두(m) [#]	통과시간(년)
s1	0.487	3.0	5.1 * 10 ⁻⁶	3.44	4.23
s2	0.491	14.5	2.0 * 10 ⁻⁶	3.44	91.23
s3	0.459	5.0	4.3 * 10 ⁻⁶	3.44	10.03
s4	0.494	5.6	5.0 * 10 ⁻⁶	3.44	10.87
s5	0.493	11.6	5.7 * 10 ⁻⁶	3.44	24.54
s6	0.459	18.5	5.7 * 10 ⁻⁶	3.44	39.83
s7	0.468	17.7	2.6 * 10 ⁻⁷	3.44	845.88
s8	0.563	10.8	3.3 * 10 ⁻⁶	3.44	44.31
s9	0.538	9.2	2.2 * 10 ⁻⁶	3.44	51.93
s10	0.475	12.5	2.9 * 10 ⁻⁶	3.44	50.91

註) #: 수도권 매립지 운영관리조합, "수도권 매립지 종합환경조사 연구보고서", 1993, pp. 4-12~4-13.
 (쓰레기층의 투수계수 10⁻⁴ cm/sec, 차수막의 경사 0.6%, 배수관 설치간격 40m, 배수관의 길이 400m 일때의 最大累積浸出水頭임)

실에서는 층적 압축을 함), 그리고 균열, 절리, 모래 렌즈같은 현장의 주요 특색 (macrofeature)때문에 수백배에서 수천배까지 차이가 생기므로 통과시간은 훨씬 더 빨라질 수 있다. 충분히 균질하게 재성형되도록 압축을 시키지 못하면 흙덩어리 사이에 커다란 공극이 남아 現場의 수리전도도를 크게 높이게 되는 것이다. 압축된 토양의 수리전도도는 흙덩어리내의 미세한 입자간 空隙(interparticle void)보다는 흙덩어리간의 공극(interclod void)에 큰 영향을 받게 된다.¹¹⁾

11) A.Griffin et al., "Migration of industrial chemicals and soil actions at Wilsonville, Illinois", in Proceedings of the tenth annual research symposium on land disposal of

미국 EPA 등의 매립지의 점토 차수막에 관련된 규제 기준과 김포 매립지의 특성을 비교해 보면 <표 3-5>와 같다.

<표 3-5> 미국 EPA 등의 점토차수막 기준과 수도권 매립지의 특성 비교

구 분	EPA 기준	수도권 매립지
실트 및 점토 함량	20%이상	81.3-99.2%
plasticity index	10%이상	8.6-28.2%
2mm 이상 입자	10%이하	10%이하
토양의 두께	0.91m이상	3.0-18.5m
수리전도도	10^{-7} cm/s이하	3.6×10^{-6} cm/s
바닥 경사	1-10%*	0.6%
침출수 수두	30cm이하**	344cm
토양 pH	7.0-8.0*	7.5-7.8
지하수위의 깊이	2m 이상***	0.00-1.90

註) *: Charles A. Wentz, "Hazardous waste management", McGraw-Hill Book Co., 1989, P. 315-316(Harry M. Freeman은 3-33% 가 배수 및 침식방지에 적합한 경사라고 함)

** : Edward J. Martin, "Hazardous waste management engineering", Van Nostrand Reinhold Co., 1989, p. 425

*** : Harry M. Freeman et al, "Standard handbook of hazardous waste treatment and disposal", McGraw-Hill Co., 1989, pp. 10.7

수도권 매립지는 水理傳導度와 중금속 吸着능력에 영향을 미치는 점토 및 실트의 함량, 점토 차수막의 안정성에 관련되는 소성지수(plasticity index), 수리전도도를 크게하는 2mm이상의 입자, 침출수의 점토차수막 통과시간에 영향을 주는 토양의 두께, 重金屬의 溶出에 영향을 끼치는 토양의 pH 등은 매립지의 粘土遮水膜 조건에는 적합하다. 그러나 지하수의 이동 속도를 의미하는 수리전도도, 침출수 遮集을 원활히 하는 바닥의 경사, 침출수의 점토 차수막 통과시간을 단축시키는 침출수 水頭, 침출수의 지하수 오염속도를 결정짓는 地下水位의 깊이 등에는 부적합하다.

수도권 매립지의 점토 및 실트 성분이 81.3-99.2%에 이를 정도로 매우 높음에도 불구하고 수리전도도가 10^{-7} cm/s 이하가 되지 못하는 것은 이곳의 토양이 충분히 압축되어 있지 못하기 때문인 것으로 보인다. 토양 공극의 크기는 토양의 수리전도도에 가장 큰 영향을 미치는 요소로서 토양입자 크기의 배열 및 광물의 배열 같은 토양의 미세구조 또는 조직에 의해 영향을 받는다.

점토의 조직에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 퇴적 당시의 전기화학적 환경, 점토의 鑛物成分 및 堆積媒體의 전기화학적 성질이다. 이러한 요인은 콜로이드 크기인 점토입자를 둘러싼 전기적 이중막(double-layer)의 두께에 영향을 주게된다. 이중막의 두께가 증가하면 점토입자의

分散指數(dispersivity)가 커져 凝集성향이 떨어져서 수리전도도가 감소하게 되는 것이다. 그리고 粘土鑛物이 많으면 광물의 표면적과 전하량이 늘어나기 때문에 양이온 交換容量(cation exchange capacity)이 커져서 중금속을 잘 흡착할 수 있게 된다.¹²⁾

이러한 특성에 근거할 때에 수도권 매립지가 중금속 등의 오염물질에 대한 흡착능력은 효과적으로 할 수 있을 것으로 보인다. 그러나 바닥경사가 너무 완만하여 이에 따른 침출수 수두의 상승으로 비반응성 물질이 지하수에 유입될 가능성이 높다. 또한, 수도권 매립지는 바다를 간척한 곳이기 때문에 鹽度가 높아 폐기물의 생물학적 분해 효과가 감소되고 토양을 굳게하여 과도한 유출이 발생될 염려가 있다.¹³⁾

IV. 結論

粘土遮水膜에서의 浸出水 성분의 이동 및 확산 특성을 살펴 보고, 이를 수도권 매립지에 적용해 보았다. 수도권 매립지의 침출수가 점토 차수막을 통과하는 시간은 分子擴散 및 吸着등의 土壤化學的 요인을 고려하지 않고 水理地質學的 특성만 감안하면 4-846년 정도 걸릴 것으로 보인다.

그리고 수도권 매립지의 점토 차수막 특성은 다음과 같다. 점토 및 실트의 함량, 소성지수(plasticity index), 2mm이상의 입자, 토양의 두께, 토양 pH 는 위생매립지의 점토 차수막 조건으로 적합하다. 그러나 水理傳導度, 바닥경사, 침출수 水頭, 지하수위의 깊이 등은 衛生埋立地 요건상 부적합하다. 이러한 결과를 바탕으로 김포 매립지가 중금속 등의 오염물질에 대한 흡착능력은 비교적 효과적일 것으로 보인다. 그러나 바닥경사가 너무 낮아 이에 따른 침출수 遮集효율의 저하로 침출수 水頭가 상승되어 非反應性 물질의 지하수 유입 가능성은 높을 것으로 보인다.

12) L.J. Goldman, "Clay liners for waste management facilities design, construction and evaluation", Noyes Data Co., 1990, pp.27-31

13) Edward J.Martin, "Hazardous waste management engineering", Van Nostrand Reinhold Co., 1989, p.425