



Organic Waste Treatment and Composting

Chapter 9. 매립

박성직



1. 서론

- 발생한 폐기물 중에 재활용 가능한 것은 물질회수하고, 가연성 폐기물은 열적처리 과정을 통하여 에너지 회수와 부피 감량을 하며, 나머지 무기성 폐기물을 포함한 잔류물과 소각재는 최종적으로 폐기물 매립지에 매립
- 폐기물 매립은 엄격한 환경오염 방지대책을 적용하지 않은 경우 가장 손쉽고, 높은 기술을 요구하지 않으면서, 비용이 적게 소요.
- 1990년대 초반까지 생활폐기물의 매립에 대한 의존도는 90%이상이었으나, 이후 재활용과 소각의 비중이 커짐에 따라 2006년도는 그 비중이 25.8%
- EU 지역에서는 생분해 가능한 폐기물의 매립지 반입을 제한하는 정책이 추진, 그러나 북미 지역에서는 매립지를 생물학적 반응조로 간주하여 유기성 물질의 생분해 도모



2. 폐기물의 매립

- ① 매립방법에 따라
 - 단순매립
 - 위생매립
 - 안전매립

- ② 매립위치에 따라
 - 내륙매립
 - 해안매립

- ③ 매립구조에 따라
 - 피산소성 매립
 - 피산소성 위생매립
 - 개량피산소성 위생매립
 - 준친산소성 매립
 - 친산소성 매립

- ④ 매립공법에 따라
 - 내륙매립 : 샌드위치 공법, 셀공법, 압축매립공법, 도랑형공법
 - 해안매립 : 내수배제 또는 수중투기공법, 순차투입공법, 박층뿌림공법



2. 폐기물의 매립

• 매립방법에 따른 분류

- **단순매립**: 환경보호시설을 갖추지 않은 단순 투기형태의 비위생적 매립형태로서 1980년대까지의 우리나라와 현재의 저소득 국가 등에서 행해지는 매립방식
- **위생매립**: 매립지 운영에 따른 환경피해를 최소화하기 위해 복토를 실시하고 침출수 차수와 처리기능을 갖춘 매립형태이며, 도시고형폐기물을 최종 처분하는 일반적인 방법
 - 미국토목학회에 의한 정의 - 위생매립이란 주민을 포함한 공공의 건강이나 안전에 해가 됨이 없고, 폐가 됨이 없도록 폐기물을 처분하는 행위로서, 공학의 원리를 이용하여 가능한 한 작은 면적에 폐기물 부피를 최소화한 후 처분된 폐기물을 최소한 일일 복토로 덮는 방법이다.
- **안전매립(차단형매립)**: 유해 폐기물의 최종 처분 방법으로서 환경오염을 최소화하기 위하여 유해폐기물을 자연계와 완전 차단하는 방법



2. 폐기물의 매립

- 위생매립의 장단점

장 점	단 점
(1) 부지확보가 가능할 경우 가장 경제적인 방법이다.	(1) 인구밀집지역에서는 경제적 수송거리 내에서 부지확보가 어렵다.
(2) 다른 방법에 비해 초기투자비 비용이 낮다.	(2) 적절한 위생매립기준이 매일 지켜지지 않으면 불법투기와 차이가 없다.
(3) 추가적인 처리과정이 요구되는 소각이나 퇴비화와는 달리 위생매립은 최종처분 방법이다.	(3) 주거지역 내 위생매립지는 주민의 큰 반발을 일으킬 수 있다.
(4) 거의 모든 종류의 폐기물 처분이 가능하다.	(4) 매립완료된 매립지는 침하되고 일정기간의 유지관리가 요구된다.
(5) 처분대상 폐기물의 증가에 따른 추가인원 및 장비가 크지 않다.	(5) 폐쇄된 매립지에서의 건축을 위해서는 침하에 대비한 특수 설계와 시공이 요구된다.
(6) 주위 부지는 공원, 운동장, 골프장 등으로 이용될 수 있다.	(6) 폭발성가스인 메탄과 가스가 폐기물분해시 생성되어 폐를 끼칠 수 있으며 폐쇄 후 매립지 이용에 장애가 될 수 있다



2. 폐기물의 매립

- 매립위치에 따른 분류

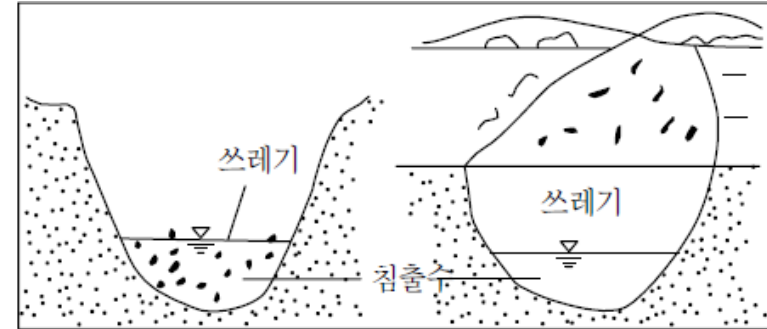
- 내륙매립: 매립지용 부지가 충분할 경우에는 보통 내륙매립이 시행.
Ex) 난지도
- 해안매립: 내륙지방에서 매립지를 구득할 수 없는 경우나 해안지방의 도시들은 해안에 매립. Ex) 김포매립지
 - 해안매립에서는 수몰된 폐기물이 혐기성 상태가 될 수 밖에 없으므로 내륙매립에 비하여 침출수의 BOD 및 COD가 고농도가 되기 쉬우며 메탄가스의 발생이 많이 됨



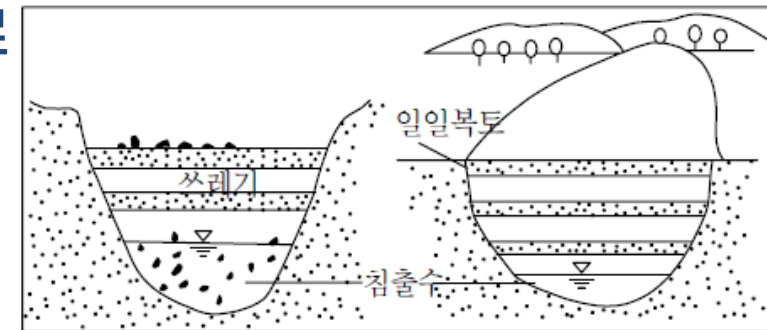
2. 폐기물의 매립

• 매립구조에 의한 분류

- 피산소성 매립: 기존의 산간지나 저습지에 폐기물을 단순 투기(open dump)하는 방법으로 환경에 미치는 영향이 큼



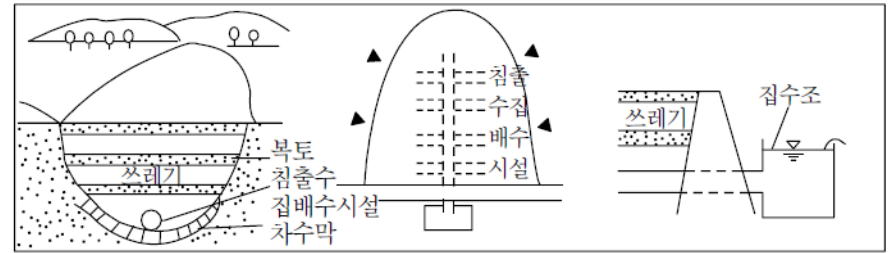
- 피산소성 위생매립: 일정 높이 약 2~3 m로 폐기물(쓰레기)를 쌓고 그 위에 약 50 cm 정도의 복토를 하는 공법으로 악취, 파리, 곤충들과 매립장내의 화재문제는 해결되지만 여기서 침출하는 침출수나 가스의 문제는 계속 남아 있음. 침출수의 성상은 피산소성 매립과 거의 차이가 없고 BOD나 질소 함량이 높아 주변 수역 오염



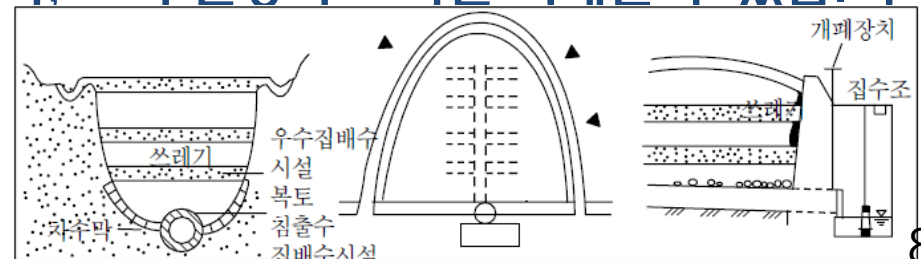


2. 폐기물의 매립

- 개량형 피산소성 위생매립: 피산소성 위생매립 구조는 냄새나 파리, 곤충 등의 문제는 해결되지만 매립 층내의 침출수가 지하를 오염시키기 때문에 저부에 불투수층(차수막)과 침출수 배수관을 설치하여 오수 대책을 세운 구조. 현재 시행되고 있는 위생매립은 대부분 이에 속함.



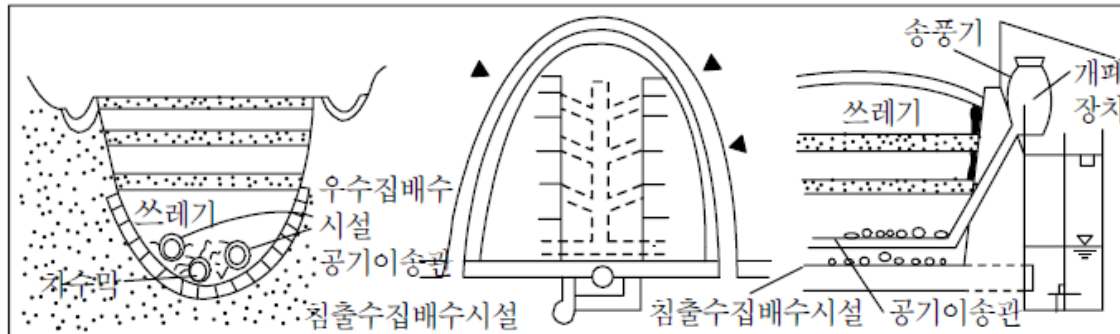
- 준호기성 매립: 준친산소성 매립은 오수를 가능한 한 빨리 매립지 외로 배제하여 폐기물 층과 저부의 수압을 저감시켜 지하 토양으로의 오수의 침투를 방지함과 동시에 집수하는 단계에서 가능한 한 침출수를 정화할 수 있도록 집수장치를 설계한 구조. 개량형 위생매립에 비하여 침출수의 수질은 매립장 내에서 1/5~1/10 정도로 정화되며, 조기 안정화 효과를 기대할 수 있음. 수도권 광역 매립장도 여기에 속함.





2. 폐기물의 매립

- **친산소성 매립:** 매립층에 강제적으로 공기를 불어 넣어 층내를 친산소성 상태로 하여 폐기물을 보다 빨리 분해하여 안정화 시키기 위한 구조. 피산소성 매립구조의 안정화 속도에 비하여 약 3배의 빠르기로 안정화가 진행. 운전비가 높은 단점.





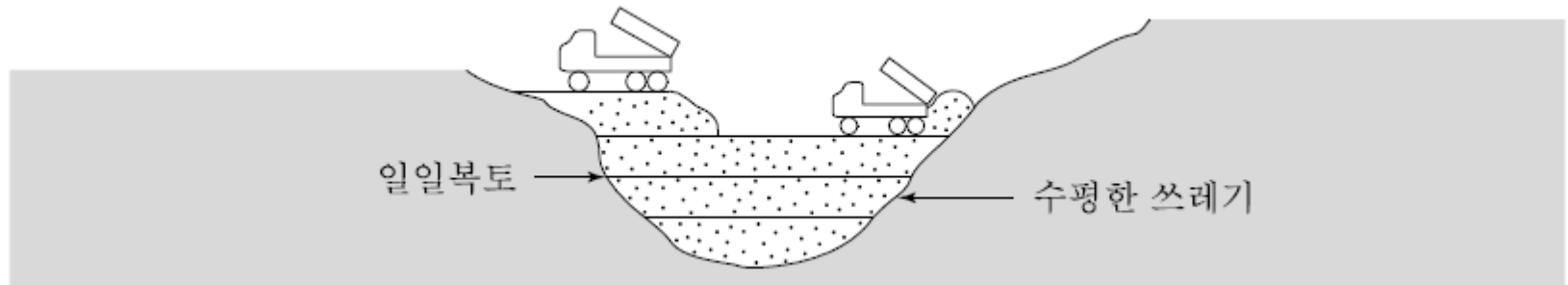
2. 폐기물의 매립

- 매립공법에 의한 분류

- 내륙매립공법

- ① 샌드위치(Sandwich)공법

- 폐기물을 수평으로 고르게 깔아 압축하고, 그 위에 복토를 깔아 폐기물층과 복토층을 교대로 쌓는 것으로서 좁은 산간지 등의 매립에 이용

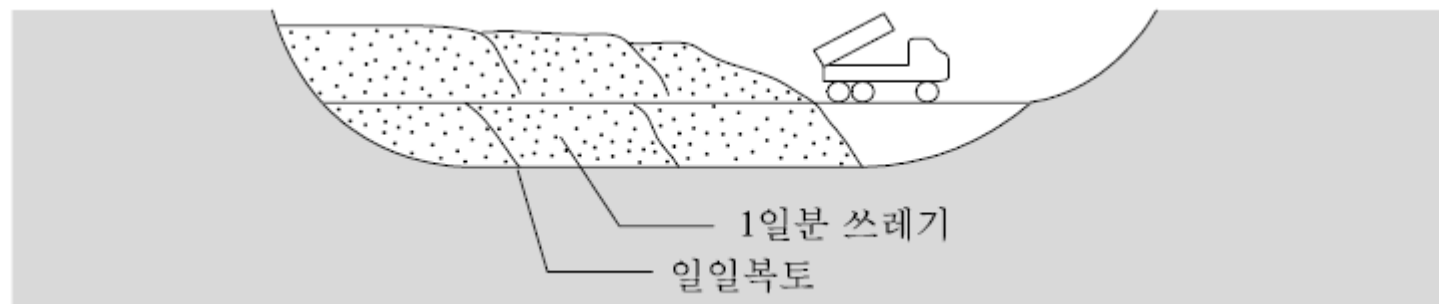




2. 폐기물의 매립

② 셀 공법

- 매립된 폐기물 및 비탈에 복토를 실시하여, 셀 모양으로 셀마다 일일 복토를 해 나가는 방식으로 현재 가장 많이 이용되고 있는 매립방식.
- 폐기물 비탈면의 경사는 15~25%로 하는 것이 좋음.
- 하루에 작업하는 셀의 크기는 매립량에 따라 결정
- 셀마다 독립된 폐기물 매립층이 완성되어 있기 때문에 화재의 발생 및 확산을 방지할 수 있고, 폐기물의 훔날림을 방지하며, 악취 및 해충의 발생을 방지하는 효과.
- 그러나 발생가스 및 매립층내 수분의 이동이 억제되므로 침출수 처리시설이나 발생가스 처리시설 설치 시에 이 점에 대한 고려 필요

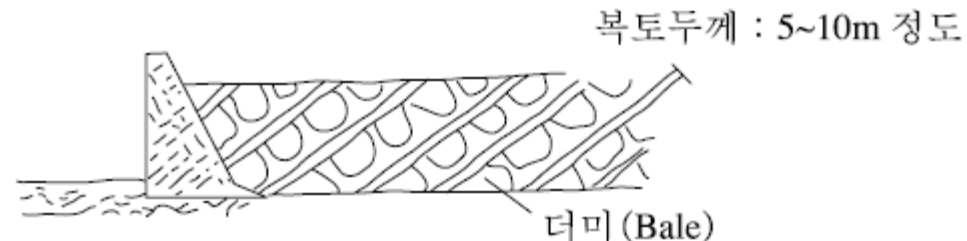
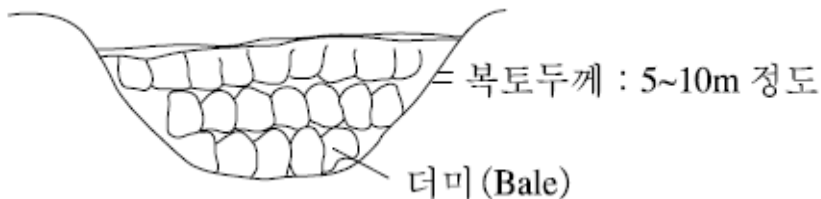




2. 폐기물의 매립

③ 압축매립공법(Baling System)

- 쓰레기를 매립하기 전에 이의 감량화를 목적으로 먼저 쓰레기를 일정한 더미형태로 압축하여 부피를 감소시킨 후 포장을 실시하여 매립하는 방법
- 쓰레기의 발생량이 증가하고 있고 쓰레기 매립지의 확보 및 사용년한이 크게 문제화되고 있는 시점에서 운반이 쉽고 안전성이 유리하다는 것과 지가(地價)가 비쌀 경우에 유효한 방법
- 쓰레기를 압축하여 더미(bale)로 만들 때 더미가 흩어지는 것을 방지하기 위하여 철망이 필요한 경우가 있으며 덩어리를 취급. 운반할 경우 파손을 주의
- 더미는 층별로 정렬하는 방법이 보편적이며 반드시 매립 각 층별로 5~10cm 정도의 일일 복토를 실시하고 최종복토층은 향후 토지이용을 고려하여 실시하되 1.5~2 m 두께 정도가 필요

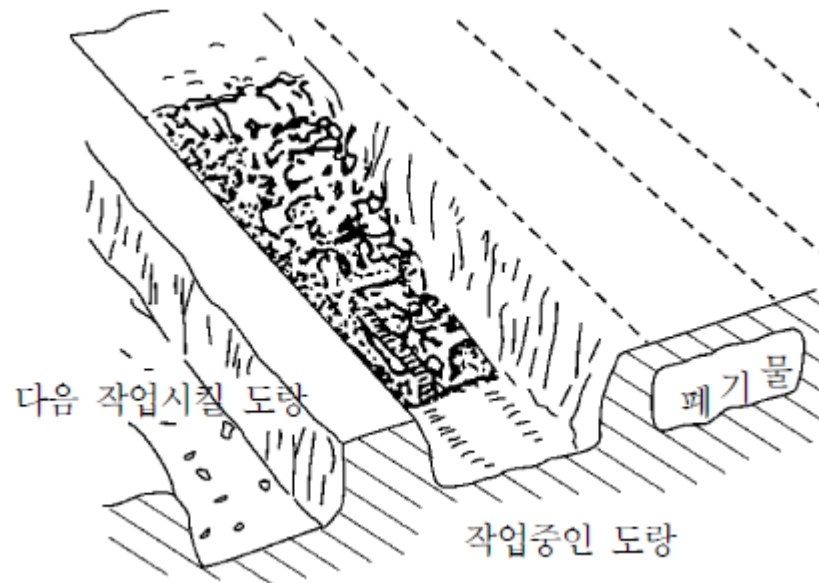




2. 폐기물의 매립

④ 도랑형 공법(Trench System)

- 약 2.5 ~ 7 m 정도의 깊이로 도랑을 파고 이 도랑에 폐기물을 묻은 후 다지고 다시 흙을 덮는 형식
- 파낸 흙은 복토재로 이용
- 토양처리 공법과 동시에 활용할 수 있고 안정한 지역의 폐기물로 토지개량재로 활용할 수 있을 경우에는 그 자리에 다시 매립할 수 있으므로 토지이용의 효율화를 도모





2. 폐기물의 매립

- 해안 매립 공법

- 처분장의 면적이 크고, 1일 처분량이 비교적 많다는 점과 처분장이 평면이어서 매립작업이 연속적인 투입방법으로 이루어지므로 완전한 샌드위치 방식에 의한 매립이 곤란
- 수중부에서 쓰레기를 고르게 깔고 압축하는 작업이 불가능하고 확실한 복토를 실시하기도 어려우므로 해안매립에서는 내륙매립과는 근본적으로 다른 매립공법이 이용
- 육지화된 부분은 내륙매립과 같은 방법으로 매립하는 것이 일반적





2. 폐기물의 매립

① 내수배제 또는 수중투기 공법

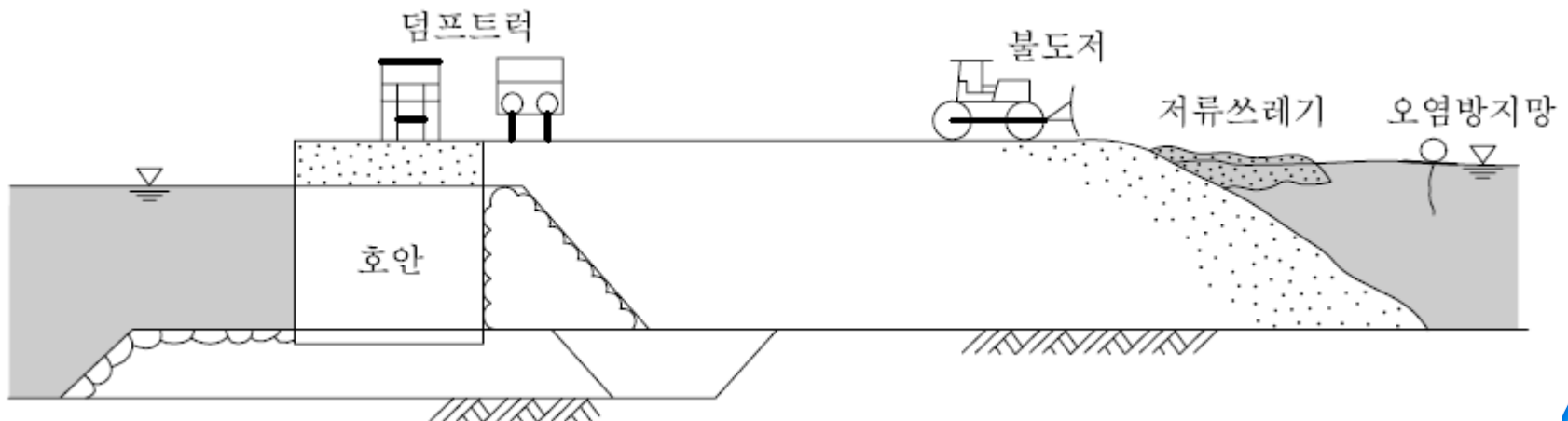
- 수중부의 매립방법은 외주호안이나 중간제방 등에 의해 고립된 매립지내의 해수 등을 그대로 놓아둔 채 쓰레기를 투기하거나 또는 매립에 앞서 내수를 일부 배제한 후 쓰레기를 투기하는 방법 및 내수를 완전히 배제하여 육상매립과 비슷한 형태로 매립
- 내수배제를 하지 않고 실시하는 방법: 타 방법에 비해 호안 등에 의한 수압의 영향이 적고 구조상 유리한 반면 쓰레기 투입에 따라 오염된 내수를 처리해야 하며 쓰레기의 부유 및 화재시의 대책 등 관리상의 문제가 많음. 수중투기에 있어서는 부유하지 않는 쓰레기만 선택하여 매립하며 중간제방을 이용하여 구역매립을 실시하고 부유방지시설을 설치하여 쓰레기 부유구역이 확대되지 않도록 하는 조치를 강구
- 내수배제를 실시하는 방법: 외주호안 등에 부가되는 수압이 증대되어 과대한 구조가 되기 쉬움



2. 폐기물의 매립

② 순차투입 공법

- 호안측에서부터 쓰레기를 투입하여 순차적으로 육지화하는 방법
- 수심이 깊은 처분장에서는 건설비의 상승이 원인이 되어 내수를 완전히 배제하기가 곤란한 경우 채택
- 바닥지반이 연약한 경우에는 매립된 쓰레기의 하중에 의해 연약층이 유동하거나, 국부적으로 두껍게 퇴적되기도 하고, 매립후 토지이용에 지장이 발생
- 부유성 쓰레기의 수면 확산에 의해 수면부와 육지부의 경계를 구분하기 어렵게 되어 매립장비 등의 매몰사고가 발생할 수 있다는 점에 유의

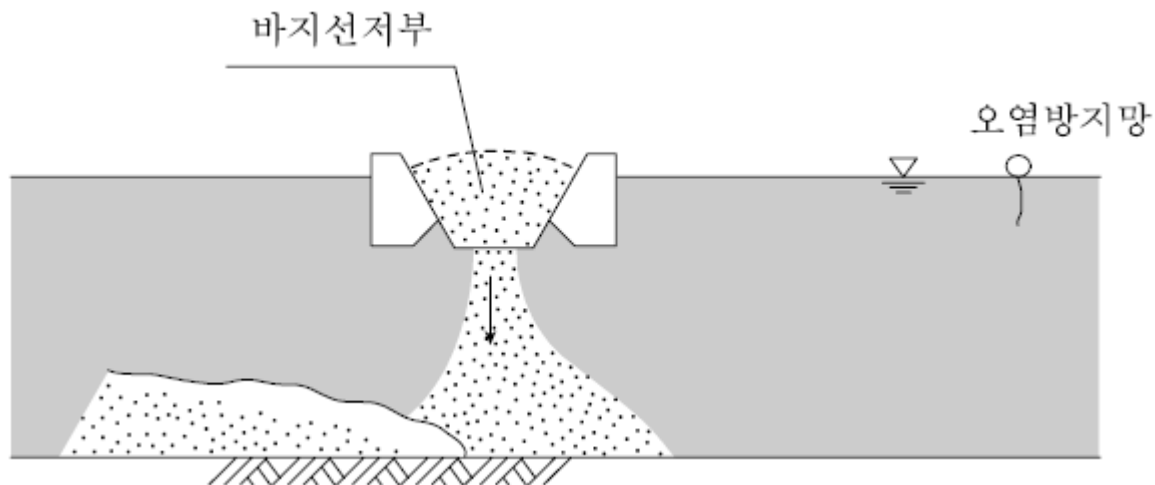




2. 폐기물의 매립

③ 박층 부림 공법

- 매립후 토지이용을 고려하여 바닥지반 개량을 실시하고 있는 처분장에서는 전술한 순차투입공법으로는 개량된 지반이 파괴될 위험성이 있을 경우 밑면이 뚫린 바지선 등으로 쓰레기를 박층으로 떨어뜨려 부려줌으로써 바닥지반의 하중을 균등하게 해주는 방법
- 쓰레기지반 안정화 및 매립부지 조기이용 등에 유리하지만 매립효율이 떨어진 다. 대체로 설비가 대규모인 매립지에 적합





3. 매립지에서 예상되는 환경오염문제

- 매립단계
 - ① 계획 및 설계단계
 - ② 시공단계
 - ③ 운영단계
 - ④ 사후관리단계
- 매립지 운영에서 발생하는 폐기물 성분의 방출에 의한 주변의 환경오염
 - ① 침출수에 의한 지하수오염
 - ② 강수유출에 의한 지표수오염
 - ③ 병원균매개체 서식 : 파리, 모기, 쥐, 새
 - ④ 종이들의 훔날림
 - ⑤ 악취, 먼지, 매립지분해가스(LFG, landfill gas), 유해가스 등
 - ⑥ 화재



3. 매립지에서 예상되는 환경오염문제

- 폐기물로부터의 성분방출 이외에 매립지 운영에 따른 환경영향
 - ① 전망
 - ② 소음
 - ③ 교통체증
 - ④ 매립지바닥 및 사면붕괴
 - ⑤ 홍수범람
- 운영단계가 끝난 후 사후관리단계에서 발생하는 환경 오염
 - ① 침출수에 의한 지하수오염
 - ② 매립가스 및 유해가스 발생
 - ③ 매립지 위에 서식하는 식물의 오염



4. 폐기물 매립지의 입지선정

- 입지 조건
 - 계획 매립 용량의 확보가 가능한 곳
 - 폐기물 매립지의 진출입로 설치가 쉬운 곳
 - 폐기물 수집 및 운반의 효율성이 높은 곳
 - 침출수 처리를 위하여 가급적 인근에 하수종말처리시설이 있는 곳
- 사회적 조건
 - 주변에 민가가 없고 주거 지역으로부터 멀리 떨어진 곳
 - 용도상 규제를 받는 지역은 피할 것
 - 운반로 상에 주거 밀집지역이 많거나 교통량이 많은 곳은 피할 것
 - 문화재 및 주요 시설물이 많은 곳은 피할 것



4. 폐기물 매립지의 입지선정

• 환경적 조건

- 경관의 훼손이 작고, 시각적으로 은폐 가능할 것
- 수림이 양호하거나 보호 대상 동물 및 식물이 서식하는 곳은 피할 것
- 지하수위가 낮고 토양의 투수성이 작을 것
- 상수원 보호구역 등 수자원 보호가 요구되는 지역은 피할 것
- 주 풍향이 주거지역으로 향하지 않을 것
- 우수배제가 용이하여 침출수 발생량을 최소화 할 수 있을 것
- 복토재 확보가 용이할 것
- 지형상 재해에 안전하며 매립작업이 용이할 것
- 공사시 토공량을 최소화 할 수 있을 것



4. 폐기물 매립지의 입지선정

• 입지 선정 절차

① 초기 입지선정단계

- 기존자료 수집 및 분석
- 입지배제기준 검토
- 관련법규 고려
- 정책적 사항 고려
- 개략적 경제성 분석

② 후보지 평가단계

- 현장조사(보링조사 ; 시추조사)
- 입지선정 기준에 의한 후보지 평가
- 후보지 등급 결정

③ 최종입지 결정단계

- 경제성 분석
- 기술적, 사회적, 경제적 사항 종합평가
- 최종입지선정



5. 매립지 내의 반응

- 매립기간 중이나 매립완료 후 매립지내의 반응
 - ① 미생물학적 반응-부패하기 쉬운 유기물질의 친산소성, 피산소성 분해
 - ② 화학적 산화
 - ③ 매립지내 가스의 이동 및 방출
 - ④ 침출수의 발생 및 이동
 - ⑤ 침출수에 의한 유기물질과 무기물질의 용출
 - ⑥ 공극사이로의 물질의 침투에 의한 불규칙적인 매립층 침하



5. 매립지 내의 반응

- 매립지내 분해

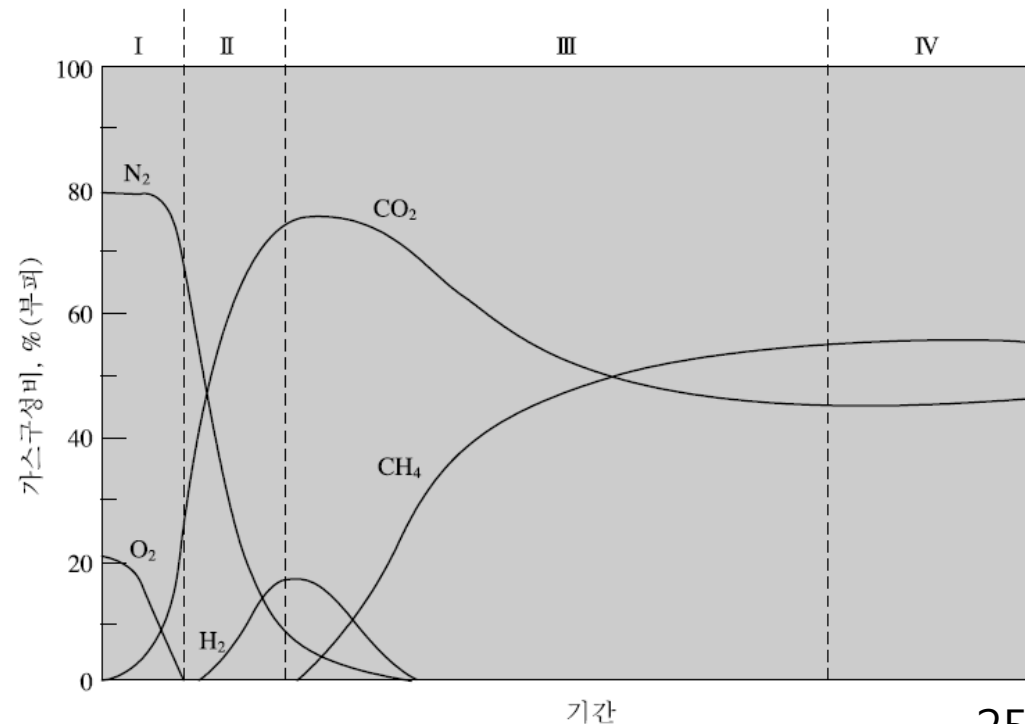
- 초기에는 친산소성 상태에서 분해가 시작되어 매립지내 산소가 거의 소비되면 피산소성 상태의 오랜 분해반응으로 이어짐
- 폐기물 내 유기물질 분류
 - ① 섬유질(cellulose)과 그 화합물을 포함한 유기물
 - 종이, 목재, 자연섬유류가 주 구성물질로서 분해속도가 비교적 느림
 - ② 탄수화물, 지방, 단백질 등 분해가 용이한 유기물
 - 분해속도가 매우 빠른 유기물
 - ③ 플라스틱, 고무, 가죽류
- 보통조건에서 분해율은 가스발생으로 측정하면 초기 2년 내에 최고에 다 달아서 10년 이상 다량의 가스가 발생된 후 25년 이상 미량이나마 지속적으로 가스가 발생
- 매립지내에 수분공급이 이루어지지 않는다면 유기물질의 분해는 이루어지기 어려움



5. 매립지 내의 반응

• 매립지내 가스(LFG, landfill gas)의 발생

- 매립지에서 발생하는 가스는 메탄, 탄산가스, 질소가 주된 성분이고 그 외에 공기, 암모니아, 일산화탄소, 수소, 황화수소, 산소 등으로 시간에 따른 조성 달라짐
- 매립 초기에는 탄산가스의 함량이 많으나 2년 후부터는 탄산가스의 메탄가스의 비율이 거의 비슷하게 됨





5. 매립지 내의 반응

- 1단계: 친산소성 단계로서 매립 후, 몇 일 또는 몇 개월가량 지속되는데, 폐기물 내에 수분이 많은 경우에는 반응이 가속화되어 용존산소가 쉽게 고갈되어 2단계 반응에 빨리 도달.
- 2단계: 피산소성 단계이지만 CH_4 가 형성되지 않는 단계로 혐의성 미생물에 의하여 SO_4^{2-} 와 NO_3^- 가 환원되는 단계. 이 반응에 의해 CO_2 가 생산되며, 수분이 충분한 경우에는 3단계로 빨리 넘어감
- 3단계: 피산소성 단계로 CH_4 가 생성된다. 즉 가스내의 CH_4 함량이 증가하기 시작하며, 온도가 약 55°C 까지 증가
- 4단계: 피산소성 단계로 가스내의 CH_4 와 CO_2 의 함량이 거의 일정한 정상 상태(Steady State)의 단계($\text{CH}_4 : \text{CO}_2 : \text{N}_2 = 55\% : 40\% : 5\%$)



5. 매립지 내의 반응

- 매립장가스 중 가장 생활환경에 영향을 미치는 물질

- CH₄는 그 성질로 보아 독성은 없고 무색무취이며 에너지가 풍부한 가스로 (13,300 kcal/kgCH₄) 공기무게의 0.558 정도로 가볍고 연소발생시 온도는 650~750℃이다. 또 공기 중에 5.3~14 Vol % 일 때도 폭발의 가능성이 있고 물에는 최대 17 mg/L 까지 용해
- NH₃ 및 H₂S는 악취성분으로서 일반적으로 유기성 토양으로 복토를 하면 거의 대부분 제어

표 10-6 매립장 가스의 분자량과 밀도

가스	분자식	분자량	밀도	
			g /L	lb/ft ³
공기			1.2928	0.0808
암모니아	NH ₃	17.03	0.7708	0.0482
이산화탄소	CO ₂	44.00	1.9768	0.1235
일산화탄소	CO	28.00	1.2501	0.0781
수소	H ₂	2.016	0.0898	0.0056
황화수소	H ₂ S	34.08	1.5392	0.0961
메탄	CH ₄	16.03	0.7167	0.0448
질소	N ₂	28.02	1.2507	0.0782
산소	O ₂	32.00	1.4289	0.0892



5. 매립지 내의 반응

• 매립지내 침출수 발생

- 침출수란 폐기물을 통하면서 용해되거나 부유되어 있는 물질이 함께 추출된 액체
- 매립지의 침출수는 강수에 의해 외부로부터 유입된 물이 대부분이며 폐기물의 분해로 생성된 액체도 포함
- 침출수에는 분해를 통해 추출된 생물학적 물질과 화학성분이 포함
- 침출수의 특성은 폐기물의 종류와 분해특성에 따라 크게 달라지므로 항목별 평균값을 나타내는 것은 매우 어려움



진천음성광역쓰레기매립장 침출수



5. 매립지 내의 반응

• 매립지의 침하와 구조적 특성

- 매립지의 침하는 초기다짐, 폐기물의 특성, 분해정도와 압밀의 효과 등에 영향을 받음
- 국내 매립장의 경우에는 매립장이 일반적으로 저습지 등 기초 지반이 불량하고 또 쓰레기의 다짐상태가 나빠 전체적인 침하율은 높음

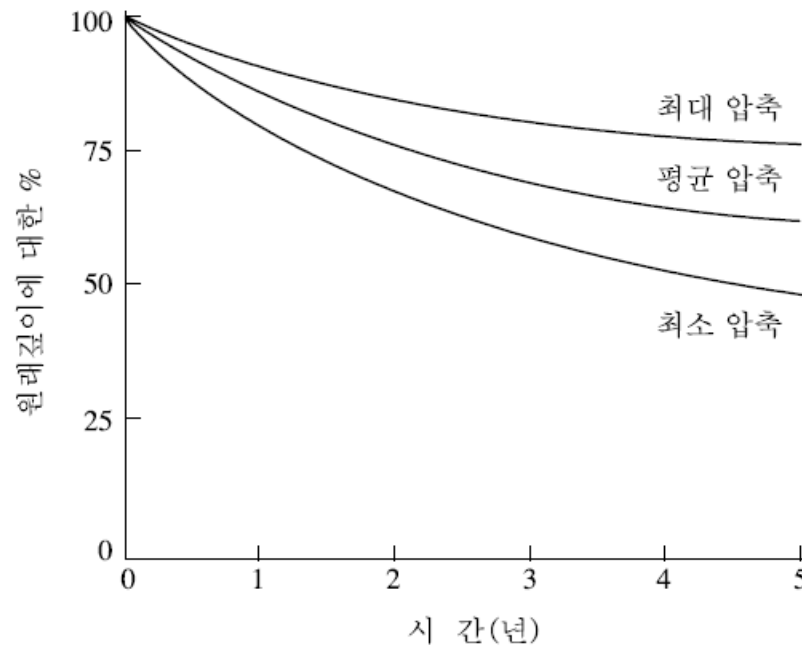


그림 10-14 폐기물의 다짐정도에 따른 매립지 침하



5. 매립지 내의 반응

• 매립지에서의 악취발생

- 매립지에서의 악취는 쓰레기의 적하, 매립, 분해 과정에서 발생하는데 일반적으로 위생매립의 경우에는 360 m 이상 악취가 전달되지 않는 것으로 보고
- 우리나라의 단순투기형 방식의 비위생매립에 있어서는 2 km 정도까지 악취가 발산되는 것으로 조사

표 10-7 쓰레기의 악취성분

성분	Pit 내부 (ppm)	Pit 외부 (ppm)
메테인 싸이올	5.37	0.03
트라이메틸아민	25.7	0.61
프로필아민(n)	0.11	-
에틸 싸이올	1.11	0.61
프로필 싸이올	0.65	-
뷰틸 싸이올	0.22	-
아밀 싸이올	0.16	-
뷰틸알데하이드	-	-
다이에틸설파이드	1.39	-
암모니아	-	0.61
황화수소	-	0.36
역희석배수(D/T)	200	40





6. 매립지의 설계

- 매립지의 설치운영으로 인한 주변의 환경오염
 - 지하수의 오염 이외에도 직간접적인 지표수의 오염도 우려가 되며 특히 유해폐기물 매립의 경우 유독한 휘발성 가스의 방출에 따른 대기오염
 - 도시폐기물의 경우 분진 및 악취발생, 파리, 모기 등 해충이나 쥐나 까마귀 등 동물서식에 의한 병원균전파 등의 환경오염가능성이 높음
- 환경오염을 최소화하기 위한 주요시설물
 - ① 차수설비(遮水設備, Liner System)
 - ② 침출수 집배수설비(Leachate Collection Removal System)
 - ③ 덮개설비(Cover System)
 - ④ 우수집배수설비
 - ⑤ 발생가스대책설비
 - ⑥ 지하수 검사공 등 사후관리설비



6. 매립지의 설계

1) 차수 설비

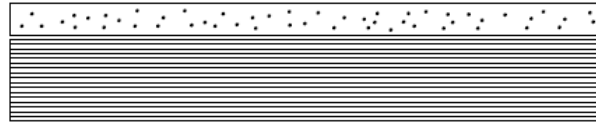
- 폐기물 매립지에서 차수설비에 쓰이는 재료

- 점토

- ① 합성차수 막
- ② Soil mixture(토양과 아스팔트, 시멘트, 벤토나이트 등의 혼합물)
- ③ Composite liner(복합 차수층) – 합성차수막과 바로 그 아래에 점토층을 두어 각 차수막의 취약점을 보완한 구조. 복합차수층의 장점은 합성차수막에 구멍이 생길 경우 지하로 유출되는 침출수량이 단일 합성차수막에 비하여 현격하게 낮음.
- ④ Double liner(이중 차수층) – 하나의 합성 차수막과 하나의 복합 차수층으로 이루어진 구조.
- ⑤ Double composite liner(이중 복합차수층) – 복합차수층이 이중
- ⑥ 다중차수설비의 경우 재료비나 공사비 등 비용이 많이 소요.



6. 매립지의 설계



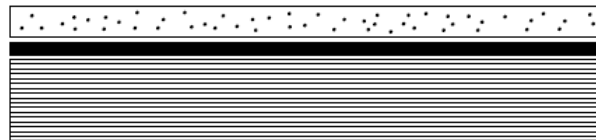
(a) 단일점토차수층

침출수집배수층(토양내 유기물 흡수)
모래 < 점토 < Humus
점토층(10^{-7} cm/s)



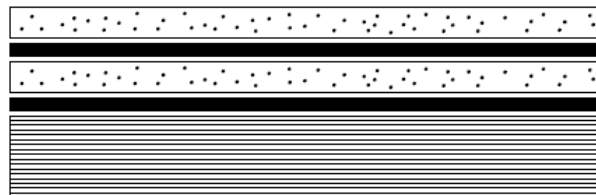
(b) 단일합성차수막

침출수집배수층
합성차수막(10^{-12} cm/s)



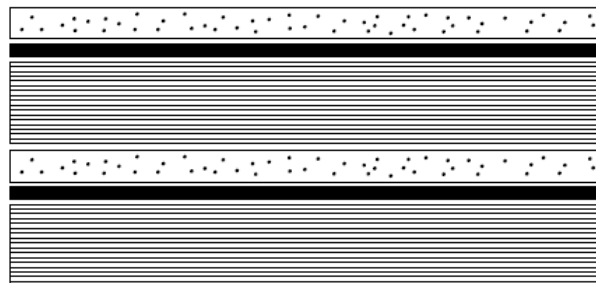
(c) 복합차수층

침출수집배수층
합성차수막
점토층



(d) 이중차수층

(여과층)
1차 침출수집배수층(30cm)
1차 합성차수막
2차 침출수집배수층(30cm)
2차 합성차수막
점토층(90cm)



(e) 이중복합차수층

1차 침출수집배수층
1차 합성차수막
점토층
2차 침출수집배수층
2차 합성차수막
2차 점토층



6. 매립지의 설계

점토층

자연산인 관계로 재료의 취득이 상대적으로 용이하지 못하고 투수율 또한 상대적으로 높으며 균등질의 불투수층 시공이 용이하지 못한 단점이 있는 반면에 침출수 내 오염물질의 흡착능력이 뛰어나다는 큰 장점

합성차수막

매우 낮은 투수성이 있는 반면 시공시 구멍이나 찢어짐 등 하자가 생기면 일단 발생된 침출수는 거의 무방비 상태에서 지하수로 유입될 수 있다는 결정적인 단점



6. 매립지의 설계

- 점토가 매립지의 차수막으로 이용되기 위한 조건

- ① 투수계수 : 10^{-7} cm/sec 미만
- ② 점토 및 미사토함유량(fine silt and clay sized particle) : 20% 이상
- ③ 소성지수(plasticity index, PI) : 10% 이상 30% 미만
- ④ 액성한계(liquid limit, LL) : 30% 이상
- ⑤ 자갈함유량(gravel sized particle) : 10% 미만
- ⑥ 직경이 2.5cm 이상인 입자 함유량 : 0



6. 매립지의 설계

- 물 등 액체가 점토층 토양을 통과하는 속도

$$Q = -KIa$$

$$V = -KI$$

여기서, Q : 단위시간당 침출수 통과량(부피/시간)

K : 투수계수(permeability 또는 hydraulic conductivity)(거리/시간)

V : Q/A : 침출수수면의 하강속도 또는 겉보기 속도(superficial velocity)(거리/시간)

a : 침출수 수면의 면적 유효공극률

I : 수리경사도(hydraulic gradient) = (dh/dL)

h : 손실수두(거리)

L : 침출수 흐름방향으로의 토양층 깊이(거리)

$$t = \frac{d^2 N}{K(d+h)}$$

여기서, t : 침출수의 점토층 통과시간(year)

d : 점토층의 두께(m)

h : 침출수 수두(m)

K : 투수계수(m/year)

n : 유효공극율



6. 매립지의 설계

- 예) 투수 계수가 10^{-7}cm/s 이고, 두께 1m인 점토층 위에 침출수가 30cm 높이로 쌓여있다. 이 침출수가 점토층을 통과하는데 걸리는 시간(년)을 계산하시오.



6. 매립지의 설계

– 합성차수막

- 토목합성수지 라이너=flexible membrane liner(FML), geomembrane, synthetic membrane liner
- 토목섬유(geosynthesis): 토목합성수지 라이너와 토목합성수지 배수층 (geotextile, geogrid, geonet, geocomposite 등)을 통틀어서 일컫음.
- Geomembrane이 점토층 대체품이듯이 geogrid, geonet 등은 자갈이나 모래 등을 대신.
- 매립지에 흔히 쓰이는 합성차수막의 종류

Polymer	thermoplastic	vulcanized
High-density polyethylene(HDPE)	yes	no
Low-density polyethylene(LDPE)	yes	no
Chlorinated polyethylene(CPE)	yes	yes
Chlorosulfonated polyethylene(CSPE)	yes	yes
Polyvinyl chloride(PVC)	yes	no
Butyl rubber(IIR)	yes	yes
Ethylene propylene diene monomer(EPDM)	no	yes
Neoprene(CR)	no	yes



6. 매립지의 설계

합성차수막	장 점	단 점
HDPE& LDPE	(1) 대부분의 화학물질에 대한 저항성이 높다. (2) 온도에 대한 저항성이 높다. (3) 강도가 높다. (4) 접합상태가 양호하다.	(1) 유연하지 못하여 구멍 등 손상을 입을 우려가 있다.
CPE	(1) 강도가 높다.	(1) 방향족탄화수소 및 기름종류에 약하다. (2) 접합상태가 양호하지 못하다.
CSPE	(1) 미생물에 강하다. (2) 접합이 용이하다. (3) 산과 알칼리에 특히 강하다.	(1) 기름, 탄화수소 및 용매류에 약하다. (2) 강도가 약하다.
PVC	(1) 작업이 용이하다. (2) 강도가 높다. (3) 접합이 용이하다. (4) 가격이 저렴하다.	(1) 자외선, 오존, 기후에 약하다. (2) 대부분의 유기화학물질에 약하다.
EPDM	(1) 강도가 높다. (2) 수분함량이 낮다.	(1) 기름, 탄화수소, 용매에 약하다. (2) 접합상태가 양호하지 못하다.
IIR	(1) 수중에서 부풀어 오르는 정도가 낮다.	(1) 강도가 낮다. (2) 탄화수소에 약하다. (3) 접합 및 보수가 용이하지 못하다.
CR	(1) 대부분의 화학물질에 대한 저항성이 높다. (2) 마모 및 기계적 충격에 강하다.	(1) 접합이 용이하지 못하다. (2) 가격이 비싸다.



6. 매립지의 설계

• 국내 차수설비 관련 규정

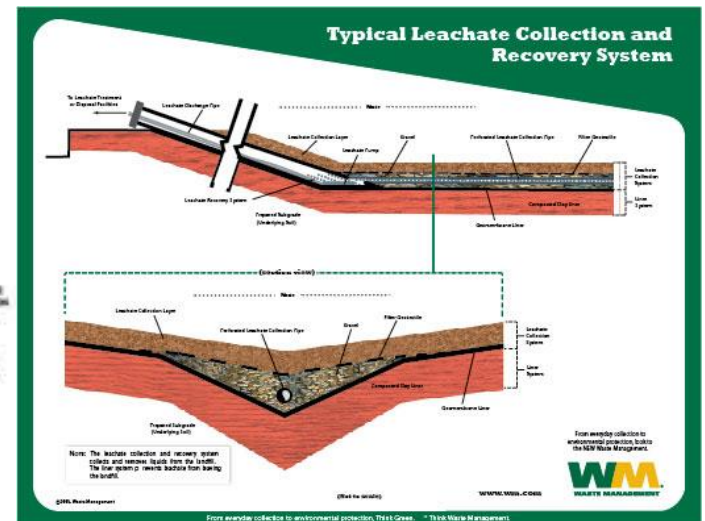
구 분		생활폐기물 매립지	지정폐기물 매립지
차수 시설	HDPE 사용시	<ul style="list-style-type: none"> • 두께 2 mm HDPE 포설 • 투수계수 10^{-7} cm/s 이하 50 cm 점토층 포설 	<ul style="list-style-type: none"> • 두께 2.5 mm HDPE 포설 • 투수계수 10^{-7} cm/s 이하 1 m 점토층 포설
	점토류 단독사용시	<ul style="list-style-type: none"> • 투수계수 10^{-7} cm/s 이하 1 m 점토층 포설 	<ul style="list-style-type: none"> • 투수계수 10^{-7} cm/s 이하 1.5 m 점토층 포설
	그 밖의 차수재료	<ul style="list-style-type: none"> • 위와 동등한 차수효과를 가지는 차수시설 	
집배수층	바닥	<ul style="list-style-type: none"> • 투수계수 10^{-2} cm/s 이상 두께 30 cm 집배수층 설치 • 집배수 관로 주변에는 5~50 mm의 골재 설치 • 바닥기울기 2% 이상 	
	측면	<ul style="list-style-type: none"> • 투과능 계수 $1/30,000$ m²/s 이상인 토목합성수지 배수층 설치 	
	그 밖의 집배수층	<ul style="list-style-type: none"> • 환경기술검증을 받은 그 밖의 집배수층 	
침출수 유량조정조		<ul style="list-style-type: none"> • 최근 10년간 1일 강우량이 10 mm 이상인 강우일수 중 최다빈도의 1 일 강우량의 7배에 해당하는 침출수를 저장할 수 있는 규모 	



6. 매립지의 설계

2) 침출수 집배수설비(Leachate Collection and Removal System, LCRS)

- 차수설비 위에 침출수가 축적되지 않도록 설치
- 침출수가 차수설비위에 축적되면 압력이 생겨서 차수설비를 투과하는 침출수량이 증가하고, 사면의 안정성이 떨어지기 때문
- 침출수 집배수설비는 발생하는 침출수를 즉시 효과적으로 차수설비로부터 제거시켜 지하수오염가능성을 최소화시키고 매립지의 안정을 도모





6. 매립지의 설계

- 침출수 집배수설비 설계 지표

- 침출수 집배수층

- ① 두께 : 최소 30 cm

- ② 투수계수 : 최소 1 cm/sec

- ③ 집배수층 재료의 입경 = 10~13 mm 또는 16~32 mm

- ④ 바닥경사 : 2%~4%

- 침출수 집배수관(유공관)

- ① 집배수관의 최소직경 : 15 cm

- ② 집배수관 구멍직경 : 1 cm 이상 집배수층재료의 최소입경미만

- ③ 구멍간격 : 집배수관직경 = 1~1.5 : 1

- ④ 집배수관간격 : 15~30 cm(최대 50 m)



6. 매립지의 설계

3) 침출수 처리설비

- 침출수의 수질

	부산 명지동	부산 화명동	미국
BOD ₅	2,300 ~ 22,000	300 ~ 8,950	2,000 ~ 30,000
TOC	-	-	1,500 ~ 20,000
COD	4,500 ~ 44,000	650 ~ 16,000	3,000 ~ 45,000
TSS	30 ~ 700	42 ~ 987	200 ~ 1,000
유기인	700 ~ 1,700	-	10 ~ 600
암모니아 질소	600 ~ 1,000	48 ~ 2,884	10 ~ 800
질산성 질소	1 ~ 5	1 ~ 10	5 ~ 40
총 인	5 ~ 50	4 ~ 6	1 ~ 70
정인산염인	-	-	1 ~ 50
알칼리도 as CaCO ₃	-	-	1,000 ~ 10,000
pH	6.0 ~ 8.0	6.0 ~ 7.5	5.3 ~ 8.5
총경도 as CaCO ₃	-	-	300 ~ 10,000
칼슘	-	-	200 ~ 3,000
마그네슘	-	-	50 ~ 1,500
칼륨	-	-	200 ~ 2,000
나트륨	-	-	200 ~ 2,000
염화물	3,200 ~ 11,000	638 ~ 5,106	100 ~ 3,000
황산염	-	-	100 ~ 1,500
총 철	-	-	50 ~ 600
수은	0.009 ~ 0.016	2,253 ~ 4,290	-



6. 매립지의 설계

- 침출수의 특징

- 침출수는 매립경과기간에 따라 침출수의 수질이 지속적으로 변화. 매립초기에는 생분해성이 높은 유기물의 비율이 높은 반면, 매립연한이 오래된 매립지는 난분해성의 유기물 비율이 높은 특징.
- 침출수는 계절별로 강수량에 따라 침출수의 수량과 수질이 변화. 여름철 우기에는 침출수의 발생량이 증가하고, 침출수의 농도는 희석효과에 의해 약간 낮아지는 경향이 있음.
- 침출수는 TKN (Total Kjeldahl Nitrogen=유기성 질소+암모니아성 질소)의 농도가 높은 편으로 침출수 처리시 고농도의 질소를 처리하기 위한 대책 필요



6. 매립지의 설계

- 침출수의 처리시 고려사항

- NH_4^+ 과다로 인해 악취가 발생하며, 질소 제거를 위함 처리방법이 필요. 하수 처리장 등에서 병합처리하는 경우에 있어서도 질소 부하에 대한 영향이 검토되어야 함.
- 폭기조에서 거품이 많이 발생하므로 거품을 제거하는 시설 필요
- 난분해성 유기물질과 색도를 유발하는 물질이 있으므로 이에 대한 고려가 필요
- 매립 초기에는 오염물의 농도가 높으며, 시간의 경과에 따라 오염물질의 농도가 낮아지므로 이에 대응한 처리 방법이 필요. 통상 매립 초기에는 생물학적 처리가 효과적이며, 매립 후기에는 물리화학적 처리가 효과적임.



6. 매립지의 설계

– 침출수 처리 공정

처리공정	침출수					
	A	B	C	D	E	F
1. 침출수 소각	2	2	2	2	1	1
2. 화학적 산화	-	2	2	-	2	K
3. 습식산화	-	2	2	-	1	2
4. 생물학적 처리	-	1	1	-	2	K
5. 건조	2	2	2	1	2	1
6. 증발	-	2	-	-	1	-
7. 막증발	1	2	2	-	-	-
8. 추출	-	2	2	-	2	K
9. 흡착	-	2	2	-	2	K
10. 역삼투	1	1	1	K	K	K
11. Ultra-Filtration	-	2	2	-	K	K
12. 유동상 막기술	2	2	2	-	-	-
13. 전기투석	1	-	2	-	-	-
14. 이온교환	2	-	-	-	-	-
15. 부상	K	K	K	K	K	K
16. 응집-침전-여과	K	K	K	K	K	K

A : 용해 또는 콜로이드 무기성 물질의 저오염부하 침출수

B : 용해 또는 콜로이드 유기성 물질의 저오염부하 침출수

C : A+B의 고오염부하 침출수 1 : 적정처리

D : A의 고오염부하 침출수 2 : 가능

E : B의 고오염부하 침출수 - : 부적정

F : C의 고오염부하 침출수 K : 타처리와 연계처리시 가능



6. 매립지의 설계

- 침출수의 처리 방법

① 혐기성 처리

- 매립 초기의 침출수는 BOD 농도가 10,000 mg/L 이상의 고농도이므로 호기성 처리가 불가능. 이 경우 우선 혐기성 처리 필요.

② 활성슬러지 공법

- 호기성 상태의 폭기조가 운영되며 고액분리를 통해 처리수는 상등액으로 나가고, 농축된 슬러지는 침전된 후 다시 폭기조로 반송하는 기능의 침전조로 구성된 생물학적 처리 방법
- 침출수 중의 암모니아성 질소를 생물학적으로 제거하기 위해서는 우선 질산화가 시킴. 질산화를 위해서는 체류시간을 10일 이상 유지
- 질산화 미생물은 온도의 영향을 많이 받아서 겨울철 수온이 12°C 이하가 되면 질산화가 거의 일어나지 않음



6. 매립지의 설계

③ MLE 공법

- 생물학적 탈질 처리 방법 중 하나로 전 탈질- 후 질산화 순서로 이루어진 MLE(Modified Ludzack-Ettinger) 공법
- 질산화조에서 암모니아성 질소가 산화되어 질산성 질소가 되면, 이를 탈질조에서 반송함으로써 탈질조에서 질산성 질소가 유입수 중의 유기물을 산화하는 과정에서의 전자수용체로 활용되면서 탈질

④ 물리화학적 처리방법

- 가장 흔히 적용되는 물리화학적 처리 방법은 응집/침전 방법으로 침출수에 존재하는 용존성의 중금속, 색도, 현탁물질을 제거하기 위해 사용

⑤ 고급산화법

- 침출수 중의 난분해성 유기물질을 처리하기 위하여 라디칼 반응을 이용한 산화 방법이 적용되는 사례가 많음.
- 고급산화법으로는 오존과 과산화수소의 조합을 이용하는 방법, 오존과 자외선을 이용하는 방법, 펜톤처리 등이 있음.
- 펜톤처리는 과산화수소(H_2O_2)와 철염(Fe^{3+} , Fe^{2+})의 화학반응에 의해 OH 라디칼이 생성되며, 생성된 OH라디칼에 의해 유기물질을 분해시키는 공정



6. 매립지의 설계

4) 덮개설비(Cover System)

– 덮개설비의 주요기능

- 폐기물 매립시 악취문제, 먼지나 종이 등의 흩날림, 병원균 매개체의 서식, 그리고 강수에 의한 우수침투 등의 방지를 위해, 그리고 매립완료 후 안전한 사후 관리를 위하여 덮개설비가 필요
 - ① 우수침투량 감소에 따른 침출수 발생량 감소
 - ② 병원균 매개체 서식방지-파리, 모기, 쥐, 새 등
 - ③ 악취 및 유독가스 제거
 - ④ 미관상의 문제
 - ⑤ 종이 등의 흩날림 방지
 - ⑥ 화재예방
 - ⑦ 매립완료 후 식물성장을 위한 토양제공
 - ⑧ 토양미생물의 접종



6. 매립지의 설계

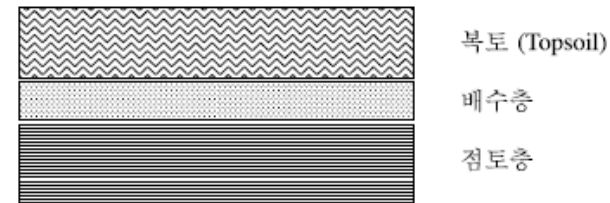
– 최종다중 덮개설비

• 목적

- 폐기물성분 방출방지에 따른 인간환경과 자연환경을 보호
- 덮개설비 유지관리의 최소화 (매립지 사후관리가 유해폐기물의 경우 최소한 30년 이상이나 예상. 강수의 유입을 최소화하고 침식을 방지하여야 하며 부등침하에 따른 다중덮개설비의 파손 방지)

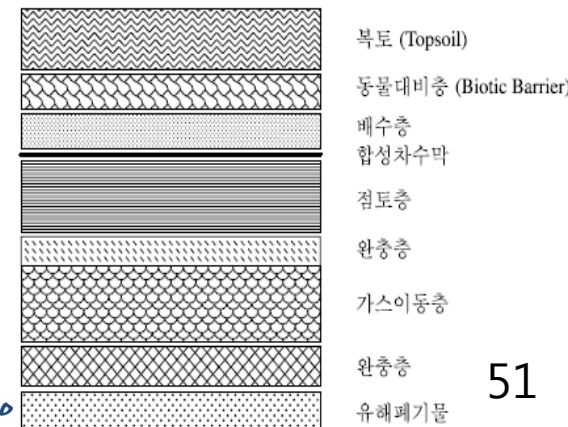
• 미국의 유해폐기물매립지를 위한 최종다중덮개설비의 최소한의 권장사항

- ① 최종복토(60 cm 두께, 최소경사 = 2%)
- ② 배수층(30 cm 두께, 최소투수계수 = 10^{-2} cm/sec)
- ③ 점토층(60 cm, 최대투수계수 = 10^{-7} cm/sec)



– 선택적 추가 사항

- » ① 합성차수막(최소두께 = 20mm 또는 0.5 mm)
- » ② 발생가스 이동층(Gas control layer)
- » ③ 동물대비층(Biotic layer)





6. 매립지의 설계

5) 우수 집배수설비

- 매립구역 밖의 우수(Run-on)는 매립지내로 유입되지 않도록 매립지주변에 배수구를 설치
- 매립구역 내의 유출수(Run-off) 또한 침사지 등에 일단 집수된 후 수질검사 등에 의하여 자연계로의 방류여부를 결정
- 시설물 규모 및 위치결정시 검토되어야 할 사항
 - ① 지형, 지질 및 토질
 - . 유로연장 . 유로평균경사
 - . 집수면적 . 유출계수
 - . 배수로 재료, 단면 및 구배
 - ② 수문자료
 - . 강우강도(발생빈도 및 지속기간)
 - . 침투유량(하수량/평균유량)



6. 매립지의 설계

6) 발생가스 대책 설비

- 매립지 가스의 성질

- 매립지 가스(Landfill Gas, LFG)의 주성분은 메탄(CH_4)과 이산화탄소(CO_2)로 안정화 상태의 매립지에서는 통상 메탄이 55%, 이산화탄소가 45% 부근의 값을 가짐.
- 그 밖에 1% 미만으로 암모니아, 황화수소, 미량의 유기 독성 물질, 악취가스 등이 포함.
- 메탄은 독성이 없고, 무색 무취의 특성을 가지며, 발열량은 13,300 kcal/kg, 비중은 공기 무게의 0.558이며, 공기 중에 5~15% 농도 범위일 때 폭발 가능성이 있음. 물에는 최대 17 mg/L에 용해.
- 매립지 가스의 발열량은 메탄 함량에 좌우되는데 보통 4,000~5,000 kcal/Nm³ 수준이며 액화천연가스(LNG)에 절반 수준.
- 이론적으로 도시 생활 폐기물 1톤이 생분해될 때 약 400 Nm³ 의 매립지 가스가 발생함.



6. 매립지의 설계

- 매립지 가스에 의한 환경 영향

- 화재의 폭발
- 건강상 위해 (VOC 함유)
- 산소 결핍에 따른 식물의 고사
- 지하수 오염
- 악취 발생
- 지구환경 문제 (메탄은 동일 부피의 이산화탄소에 비하여 지구 온난화 지수가 21 배임)



6. 매립지의 설계

- 매립지 가스의 추출

- 매립지 가스에 의한 환경영향을 최소화하기 위해서는 매립지 운영 및 사용종료된 후에도 지속적으로 매립지 가스를 강제적으로 추출 필요.
- 매립지 가스의 추출 시설은 매립가스 추출을 위한 수직가스포집정이나 수평트렌치, 이들을 수송하는 수평관로시설과 송풍기 시설 등으로 구성.
- 여름철 집중호우로 매립지 내 지하수위가 상승하므로 LFG의 진공추출시 지하수도 함께 빨려 올라올 수 있으므로 주의
- 매립지 내부는 생물학적 분해 작용에 의해 온도와 습도가 높아서 LFG를 추출하면 매립지 내부와 외부 온도와의 기온차에 의해 응축수가 발생. 따라서 LFG가 송풍기로 유입되기 전에 응축수를 분리하는 시설을 설치하여 펌프 시설을 보호.
- 수평트렌치는 운영 중인 매립지에서 LFG를 추출하기 위해 사용되는데, 트렌치를 파서 수평으로 가스 추출 관로를 묻고, 이를 가스 수송관에 연결하는 방식.



6. 매립지의 설계

- 매립지 소각의 필요성

- 추출된 매립지 가스는 재활용하거나 매립지 가스 전용 소각기에서 소각처리.
- 메탄가스는 지구온난화 지수가 이산화탄소에 비하여 21배 높으므로 연소시키는 것이 온실 가스 제어 측면에서 바람직.
- 매립지 가스 중에 포함된 비메탄계 유기화합물을 완전 연소시킴으로써 유해성분이 대기 중으로 방출되는 것을 제어.

- 매립지 가스 이용

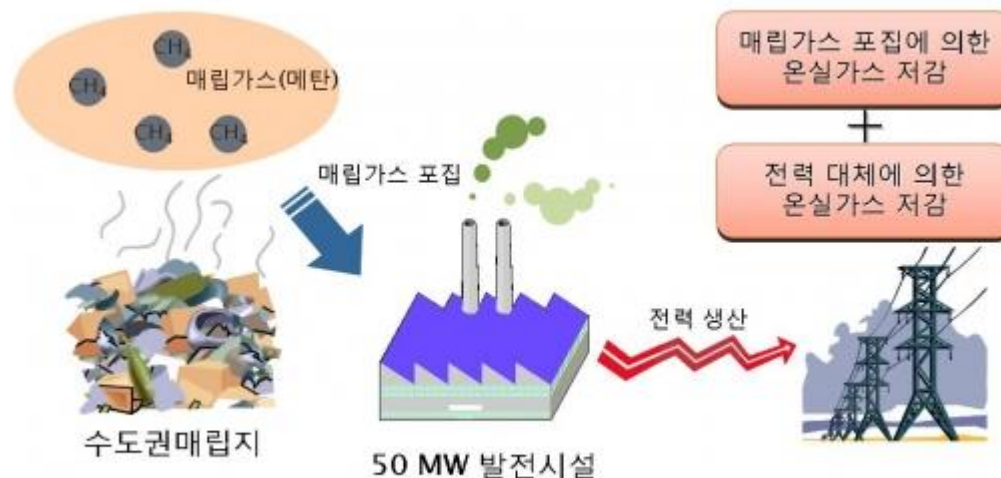
- 보일러 연료로 직접 사용
- 발전
- 침출수 증발, 연료전지화, 메탄압축을 통한 자동차용 연료화, 메탄을 생산, 이산화탄소 생산



6. 매립지의 설계



매립지 가스로 발전 ... 하루 18만 가구 전력공급 12일 인천광역시 서구 백석동에 위치한 수도권매립지 내 제2매립지 위로 폐기물 운반 차량이 지나고 있다. 이곳에 설치된 699개의 가스포 집관을 통해 모인 가스는 인접 폐기물매립발전소로 보내진다. 이 발전소의 하루 전력생산량은 120만kwh이며 이는 18만 가구에 전력 공급이 가능하다. [김도훈 기자]



▲폐기물에서 나오는 메탄가스를 이용해 에너지 생산과 탄소배출권을 확보할 수 있다.
<자료=수도권매립지관리공사>



7. 매립지의 사후 관리

- 폐기물매립지에 대한 검사(**monitoring**)
 - ① 지하수검사
 - ② 불포화층
 - ③ 유출수(Run-off)
 - ④ 인근지표수
 - ⑤ 발생가스
 - ⑥ 매립지 최종덮개설비(특히 경사면부분)의 안정성



8. 사용 종료 매립지의 이용

- 매립지의 초기 이용
 - ① 녹지대 조성
 - ② 수림대 조성
 - ③ 체육 또는 놀이시설 조성
 - ④ 상가(shopping center)
 - ⑤ 소음방지구역
 - ⑥ 특정산업시설
 - ⑦ 주차시설
 - ⑧ 특정과수재배
 - ⑨ 농업 및 목축시설



8. 사용 종료 매립지의 이용

- 매립지의 조기 이용을 위한 방안
 - ① 지하수위의 강하조치
 - ② 가스배제
 - ③ 친산소성 상태 유지
 - ④ 매립쓰레기의 퇴비이용



8. 사용 종료 매립지의 이용

• 폐기물 매립지의 안정화 평가기준 (환경부)

구분	평가항목
침출수 및 지하수	<ul style="list-style-type: none"> ① 침출수의 수질이 2년 연속 배출허용기준에 적합하고, BOD/COD_{cr}이 0.1 이하일 것 ② 단, 침출수의 발생이 없을 경우에는 ① 항목은 제외 ③ 지하수의 수질 조사 결과 지하수질기준을 초과하지 아니하거나, 매립지로 인한 오염징후가 나타나지 아니할 것
매립가스	<ul style="list-style-type: none"> ① 매립가스 발생량이 2년 연속 증가하지 않은 것 ② 매립가스 중 CH₄ 농도가 5% 이하일 것
매립폐기물	<ul style="list-style-type: none"> ① 매립폐기물 토사성분 중의 가연물 함량이 5%미만이거나 C/N 비가 10 이하일 것 ② 폐기물의 용출시험 기준항목을 만족할 것
기타	<ul style="list-style-type: none"> ① 매립지 내부온도가 주변 지중온도와 유사할 것 ② 기타 약취, 구조물 및 지반의 안정도 조사, 지표수의 수질조사, 토양조사 결과 매립지로 인한 주변환경영향이 인정되지 아니할 것



8. 사용 종료 매립지의 이용

- 폐기물 매립지의 토지 이용시 환경적 측면에서 고려사항 (환경부)

항목	관련내용
토지이용 개시시점	<ul style="list-style-type: none"> 매립지 침하와 안정화가 어느 정도 도달한 사용종료 후 10년 이상이 바람직함 매립 종료 후 초기 5년간에 최종침하량의 약 2/3 가량이 발생하고, 매립 가스도 왕성히 발생하는 것을 감안할 때 매립 종료 후 최소한 5년정도는 별도의 토지 활용시설을 두지 말고, 매립지 안정화기간으로서 관리 필요
최종복토층	<ul style="list-style-type: none"> 매립지 가스의 차단이 보장되는 최종복토층 (HDPE 라이너) 설치 뿌리가 깊은 심근성의 교목류 식재를 위해서는 충분한 두께 (가급적 4m 이상)의 식생층이 필요
매립지 가스 추출	<ul style="list-style-type: none"> 토지 이용시 악취 발생 억제와 건강상의 위해성 제거를 위해 수직정 위주의 매립지 가스 강제 추출 및 소각시설의 지속적인 운영 필요



8. 사용 종료 매립지의 이용

• 국내 사용 종료 매립지의 공원으로의 토지이용 사례

명칭 항목	서울 월드컵공원	대구수목원	대전코바 골프클럽	광주 풍암생활체육공원	대전 상서동 환경생태공원
면적	2,720,000 m ² (823,000평)	244,630 m ² (74,000평)	71,120 m ² (골프장 부지면적 29,967m ²)	71,660 m ² (22,000평)	45,000 m ² (14,000평)
폐기물 매립기간	1978 ~ 1993	1986 ~ 1990	1990 ~ 1992	1991 ~ 1994	1995 ~ 1996
폐기물 매립량	9200만톤	410만톤	?	58만톤	91만톤
공원 조성비	?	103억원	172억원 (부지매입비 100억원 포함)	31억원	22억원 (보상비 6.8억원 포함)
완공년도	2002년	2002년	2005년 3일	2006년 3일	2006년 6일
사용종료 ~공원조성 경과기간	9년	12년	13년	12년	10년
주요 설치 시설	<ul style="list-style-type: none"> 하늘공원 (생태공원) 노을공원 (당초 대중골프장으로 조성되었으나 공원으로 재개장) 	<ul style="list-style-type: none"> 21개 테마별 전문수목원 	<ul style="list-style-type: none"> 114타석 인도어 골프장, 6홀 Par 3 골프장, 클럽 하우스 	<ul style="list-style-type: none"> 다목적운동장, 생활체육공간, 야외무대, 도시소생물 서식공간, 습지원, 작물원, 보호식물원, 다목적 광장, 어린이놀이터 	