

신축매립장 부지내 유출수의 평가

Evaluation of Outflow from New Constructed Landfill Site

주소영* · 연익준** · 이민희*** · 신진환**** · 김광렬*****

Ju, So-Young · Yeon, Ik-Jun · Lee, Min-Hee · Shin, Jin-Hwan · Kim Kwang-Yul

Abstract

In this study, it was investigated if the outflow from incised slope in a new constructed landfill site flowed into it from the neighboring existing landfill site.

The water quality of the outflow was compared with the leachate of the neighboring existing landfill site, monitoring well, stream water, and underground water near by the new constructed landfill site. We examined a result of filtering experiment of the leachate and NH_3 and H_2S analysis of odor in the outflow site.

The results of the experiments were the pollution level of the outflow from the constructed site was quiet high, relatively, and that the micro-analysis of organic materials from the outflow and the odor analysis of organic materials were related with the outflow results. So we supposed that the outflow was affected with the leachate of the neighboring existing landfill site and countermeasures should be made prior to construction.

Keywords : Landfill, Leachate, Odor, Analysis

요 지

신축 매립장 부지내 절개사면에서 유출되고 있는 유출수가 인접한 기존의 폐기물 매립장으로부터의 침출수 유입여부를 평가하는데 있다. 판단은 유출되고 있는 유출수의 수질을 기존매립장의 침출수, 감시정 그리고 신축부지 근처의 지하수와 하천수와 비교하였고, 침출수의 여과 실험과 유출수의 유출지점에서 발생하는 악취에 대한 NH_3 와 H_2S 분석도 같이 수행하였다.

공사장내 유출수의 오염도가 상대적으로 높은값을 나타내었고, 유출수의 유기물 미량분석과 악취분석도 침출수에서 발견되는 유기물이 검출된 결과를 보여주어, 유출수는 인접한 폐기물 매립장으로부터 침출수가 유입되는 것으로 판단되며 공사시 이에 대한 대책이 선행이 되어야 된다고 사료된다.

주요어 : 매립장, 침출수, 악취, 분석

* 정희원 · 한국원자력연구소 Post Doc.

** 정희원 · 동림건설기술(주) 기술개발연구소 소장

*** 충북대학교 대학원 환경공학과 박사과정

**** 정희원 · 충주대학교 공과대학 토목공학과 부교수

***** 충북대학교 공과대학 환경공학과 교수

1. 서론

1980년 중반 이전의 매립지는 대부분이 불량매립지로서 침출수를 차단할 수 있는 차수시설, 집수조, 가스처리시설 등이 설치되지 않았거나 일부만 설치되어 매립장이 비위생적으로 관리되어 왔다. 그러나 이들 매립장은 주로 계곡, 하천부근, 저습지역 등에 존재하고 있어 각종 2차 환경오염을 유발시키고 있어 매립지의 사후 관리는 환경오염의 방지를 위하여 매우 중요한 사항이다. 외국에서는 매립지의 사후 관리에 많은 투자를 하고 있는 실정이나, 우리나라는 매립지의 사후관리 기법의 개발이 미흡한 실정이다(환경부 1997).

불량매립지는 근래에 매립종료된 대부분의 매립지로 볼 수 있으며 1999년말 현재 사용 종료된 매립지는 1,000여 개소로 매립된 폐기물량은 약 184,000천톤에 달하고 있는 것으로 조사 되었다(환경부, 2000). 이에 따라 정부에서는 96년부터 비위생매립장에 대한 체계적인 정비사업을 지원하고 있으나(환경부, 2000), 이러한 매립장을 복원시키는데는 오랜 시간과 기술이 요구되고 오염물질의 확산방지 및 오염원을 제거하기 위한 자료로 매립장 조사 연구 등이 있기는 하지만 아직 미비한 편이며 적절한 처리 방안이 시급히 마련되어야 할 것이다(김무훈 등, 1998 ; 연익준 등, 2002 ; 고재영, 2000 ; Christensen et al, 1992 등).

특히, 매립지 침출수는 매립지 하단부의 토양, 지하수, 하천 등으로 유입되어 오염을 유발하기 때문에 매립에 있어서 주요 환경문제의 발생 원인이며, 오염물질의 이동 및 변환은 다양한 요소에 의하여 영향을 받게 되며 이에 대한 이해가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 신축 매립장 부지내에서 발생하는 유출수가 인근 해발 210~230m의 능선으로 둘러싸인 계곡에 인접한 기존의 생활폐기물 매립장으로부터 발생하는 침출수의 유입여부를 판단하여 향후 비위생매립지 관리의 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 대상매립지 선정

신축 폐기물 매립장은 총 면적이 48,000m²이며 이중 유효매립면적은 24,500m²로 설계되어 있고, 인근의 기존

생활 폐기물 매립장과 작은 능선을 경계로 인접하여 있으며 기존의 매립장은 매립용량이 63,848m³로 현재 61,903m³의 폐기물이 매립된 단순투기형 비위생 계곡식 매립지로서 20년 정도 경과하였으며 매립완료 단계에 있다. 매립지 하단부, 즉 계곡에 매립후 10여년이 경과 한 후 제방을 축조하여 침출수 배제관과 집수정 그리고 관거를 통하여 침출수를 차집하고 있으며, 매립지 둘레에 우수배제를 위한 차수막시설과 한쪽편으로만 우수배제로가 시멘트로 축조되어 있는 실정이다.

기존의 매립장과 건설현장은 해발 210~230m의 능선으로 둘러싸인 계곡에 작은 능선을 경계로 위치하고 있으며 서쪽이 개방된 건설현장은 강우시 우수외에는 외부로부터 지표수의 유입이나 지하수의 유출원이 없는 것으로 조사되었으며, 산능선 사이로 위치하고 있는 기존의 매립장 외에는 환경오염원이 없는 것으로 확인되었다.

2.2 시료채취

2.2.1 시료채취 위치

신축 매립장 부지내에 유출수가 인접한 기존 생활폐기물 매립장으로부터 유출되는 침출수인지를 판단하기 위하여 여러곳의 유출수 발생지점 중 이격거리를 고려하여 4개 지점을 선정하여 유출수 시료 채취점으로 하였고(1~4번위치), 공사장내의 유출수 수질을 비교하기 위해 기존 매립장 침출수 집수조(5번)와 침출수 감시정(6번)에서 각각 시료를 채수하여 유출수를 분석하였으며 그 위치를 그림 1에 나타내었다. 또한 매립장 주변의 300~3,000m정도의 범위내에서 위치를 고려하여 지하수(GW1~GW4)와 계곡 및 하천(W1~W4)에서 각각 4개소의 시료를 채수하여 분석하였으며 그 위치를 그림 2에 나타내었다. 현 공사장과 기존의 매립장이 작은 능선 양쪽으로 인접하고 있어 매립장으로부터 지층을 통해 침출수가 유출될 경우 지층에 의한 여과효과로 수질의 변화가 있을 것으로 예측되어 공사장에서 채취한 토사로 매립장 침출수에 대한 여과실험도 실시하였다.

또한 악취가 매립지 침출수에 의한 것인지를 검토하기 위하여 후각적으로 악취가 감지되는 2, 3번 지점 근처에서 굴착하여 악취에 대한 분석을 하였다.

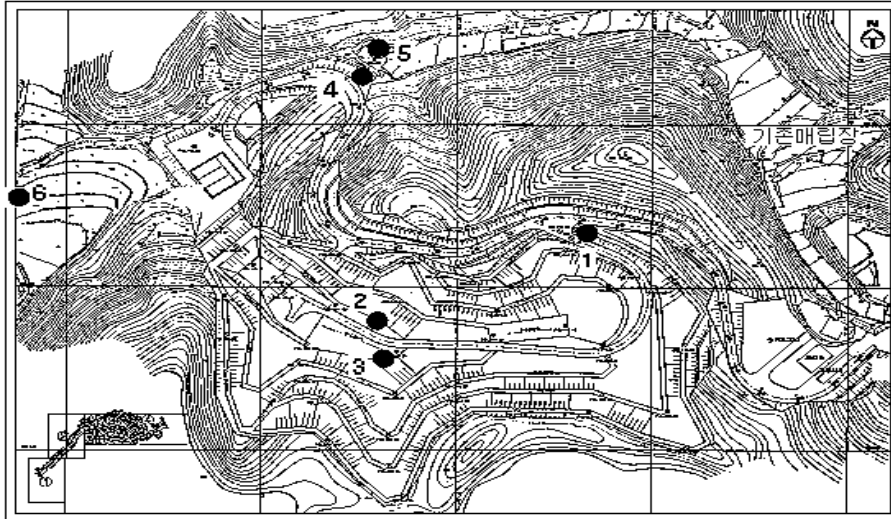


그림 1. 공사장내 시료 채취 위치도



그림 2. 매립지 주변 지하수, 하천수 수질 측정지점

2.2.2 시료채취 방법

시료 채취를 위해 유출수의 유출지점에 시료 채수용 간이 집수조를 설치하였다. 집수조는 플라스틱 주름관으로 지름 20cm, 길이 40~50cm 이며, 유출수가 관의 벽면을 통해 집수가 용이하도록 일정간격으로 천공을 하였고 집수조로 이물질이나 공사장에서 발생하는 분진 등이 들어가는 것을 방지하기 위해 상부를 비닐로 덮개를 씌웠다. 집수조에 집수된 유출수는 흡인 펌프를 이용하여 채수병에 채수하였다.

한편 악취 분석을 위한 시료 채취는 후각적으로 악취가 감지되는 곳 중 2개 지점을 선정하여 깊이 50cm, 지름 100cm 정도로 굴착한 후 상부를 비닐을 씌워 외부의 공기를 차단하고 내부의 공기를 공기시료 채취기를 이용하여 습식법으로 분석하였다.

2.2.3 시료수 분석

유출수 및 기존 매립장 침출수, 매립장 침출수 감시정 관정수, 계곡하천수, 지하수의 분석은 모두 수질오염공정시험법에 따라 시행하였으며 분석항목은 pH, BOD, COD, SS, T-N, T-P, Cr, Cd, Cu, Pb, Fe, Mn, Zn, As, Cr^{6+} , Hg, phenol, CN, F, 색도, 대장균수, Org-P, PCB, PCE, TCE, NH_3-N , NO_3-N , 등 27개 항목으로 하였다. 또한 참고로 Toluene, Butanone, Acetone, Chloroform, Ether, Dichloromethane, VOCs에 대해서도 미량 분석을 하였다(최규철 등, 1999).

시료 채취 기간중 강우와 강수량의 변화등에 의해 유출수량의 변화폭이 커서 평균값으로 나타낼 경우 분석 자료의 오차가 커지게 되어 농도범위로 시료를 5회 채취후 분석하여 결과를 나타내었다.

2.2.4 악취 분석

악취의 성분은 매우 다양하나 가장 일반적인 성분으로 NH_3 와 H_2S 가스를 공기시료채취기를 이용하여 습식법으로 포집하여 대기오염공정시험법에 따라 분석하였다(편집부, 1999).

2.2.5 여과실험

공사장 내 유출수가 대부분 절개사면으로부터 유출되고 있어 유입수가 기존 매립장의 침출수일 경우 여과 효과에 의한 수질변화 가능성이 있을 것으로 예측되므로 이러한 영향을 확인하기 위하여 여과실험을 실시하였다. 여과실험은 공사장 내에서 채취한 토사를 60℃ 항온조에서 24시간 건조시킨 후 40mesh 체를 통과시켜 체가름한 것을 내경 5cm, 길이 100 cm의 유리관에 50cm 높이로 충전하고 상부로부터 기존의 매립장 침출수를 통과시켜 수행하였으며, 여과에 사용된 기존 매립장 침출수의 양은 토사 100g 당 1L의 비율로 하여 1시간 동안 여과된 여액에 대하여 BOD와 COD를 분석하여 여과전과 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 외관상 분석

유출수가 유출되는 지점 모두에서 후각적으로 악취가 감지되었으며 유출수 역시 전형적인 침출수와 같은 색깔을 띠고 있음을 육안으로 확인할 수 있다.

유출수량은 강우시 크게 증가하나 강우 정도에 따라 비가 그친 후 3~4일이 경과하면 수량이 크게 줄어드는 것으로 관찰되었으며, 유출지점의 토양 색깔이 검은색 또는 짙은 갈색으로 변질되었음을 발견할 수 있었다.

3.2 유출수 수질 분석

공사현장내 4개 유출수 시료 채취지점으로부터 채취한 시료의 분석결과는 표 1과 같다.

시료의 채취는 모두 5회를 하여 분석하였으며 시료 채취 기간중 강수에 의한 영향을 고려하여 비가 그친 후 5일이 경과되었을 때 시료를 채취하였다. 그러나 강수량에 따라 매회 시료채취시 유출수의 유출량이 큰 변화를 보임으로써 우수에 의한 영향을 완전히 배제할 수는 없을 것으로 판단된다.

표 1에 나타난 결과로부터 유출수가 발생하는 시료채취점 1에서의 유출수를 고찰하여 보면 하천수 4개소와 지하수 4개소의 수질분석 결과와 비교할 때 하천수와 지하수 채취지점이 본 공사현장보다 낮은 지대에 위치하고 또한

표 1. 공사장내 유출수 시료 채취지점별 수질 분석결과

지점 항목	1	2	3	4	5	6	(W1~ W4)	(GW1~ GW4)
pH	7.6~7.7	6.9~7.0	7.0~7.8	7.0~7.2	7.4	7.5~7.7	7.6~7.7	7.4~7.6
BOD	9.0~10.3	58.2~76.1	4.4~5.6	29.7~76.8	65.6~249.7	10.6~15.2	1.8~5.9	0.1~0.4
COD	22.3~59.6	33.1~68.2	17.2~25.2	45.4~70.0	380.0~1216.0	9.3~16.8	2.1~6.5	2.1~5.4
SS	129.3~1590.0	50.0~322.0	249.2~1060.0	480.0~1962.0	74.0~170.0	35.0~63.0	6~100	3.5~6.0
T-N	2.328~3.158	2.962~3.360	3.116~12.040	3.492~3.816	301.7~356.32	0.850~1.974	0.016~3.780	1.488~1.798
T-P	0.013~0.744	0.017~0.252	0.144~0.660	0.130~0.240	0.888~4.320	0.014~0.048	0.016~0.081	ND
Cr	ND	ND	ND	ND	ND~0.172	ND	ND	ND
Cd	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cu	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Pb	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Fe	1.222~17.480	3.389~11.304	8.997~21.250	7.452~33.980	68.06~69.87	0.251~0.662	1.460~8.775	ND~0.321
Mn	2.163~4.202	3.368~4.375	0.418~1.218	1.642~5.520	1.099~2.077	0.010~0.035	0.815~1.975	0.041~0.671
Zn	ND	ND	ND	ND	0.072~0.082	ND	ND~0.010	ND
As	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cr ⁺⁶	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Hg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Phenol	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CN	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
F	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
색도	47~66	48~72	68~125	152~280	1520~1810	26~38	12~31	28~35
대장균군수	6~40	7~50	42~430	34~380	36~58	60~180	1600~9000	8~30
유기인	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PCB	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PCE	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
TCE	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
NH ₃ -N	0.789~1.480	0.098~0.870	0.091~0.311	0.053~0.193	311.0~358.0	0.193~0.519	0.264~0.379	0.196~9.420
NO ₃ -N	0.020~0.090	0.060~0.186	0.096~0.231	0.321~0.414	1.080~1.565	0.011~0.538	0.071~0.741	1.268~1.452

직선거리로 약 300~3,000m 정도의 지점들인 점을 고려하면 COD의 경우 하천수 2.1~6.5mg/L, 지하수 2.1~5.7mg/L, 침출수 감시정 관정수 9.3~16.1mg/L에 비하여 22.3~59.6mg/L로 매우 높은 값을 나타내고 있음을 알 수 있다.

또한 BOD, T-P, T-N의 경우 하천수가 각각 1.8~5.9, 0.016~0.081, 0.016~3.780mg/L인데 비하여 유출수는 9.0~10.3, 0.013~0.744, 2.328~3.158 mg/L로 높게 나타났다.

이와 같은 분석결과로부터 공사현장 인근에 기존의 매립장을 제외하고는 오염원이 없음을 고려할 때 시료채취점 1에서 유출되는 유출수는 기존의 매립장 침출수가 유입된 것으로 판단된다.

시료채취점 2에서 유출수의 BOD, COD, T-P, T-N은 각각 58.2~76.1, 33.1~68.2, 0.017~0.252, 2.962~3.360mg/L로 하천수와 지하수 보다 높은 수치를 나타내고 있고 시료채취점 3, 4지점에서역시 지점 1에 대한 고찰과 같은 결과로 해석된다.

대장균의 경우 지하수나 매립장 침출수의 오염도가 높아도 온도가 낮고 공기노출이 적어 일반적으로 대장균이 침출수가 유입된 하천수보다 낮게 나타나는데 표 1에서 대장균은 채취점 1~4 각 지점별 각각 6~40, 7~50, 42~430, 34~380MPN으로 하천수의 대장균 1600~9000 MPN과 비교시 매우 낮은 값을 나타내고 있으며, 또한 지하수의 경우 8~30MPN, 침출수 감시정 관정수 60~180 MPN 등의 분석 결과를 고려할 때 역시 침출수의 유출로 인한 결과로 생각되며 대장균수의 분포값의 차이는 유출경로와 유출량 등의 차이 때문으로 판단된다.

또한 시료채취점 1~4에서의 유출수는 색도 분석결과 각각 47~66, 48~72, 68~125, 152~280으로 매우 높은 값을 나타냄으로써 유출수가 유출되는 지점의 토양이 변색되는 원인이 됨을 알 수 있다. 그 외에 중금속류는 일반생활폐기물 매립지 침출수와 같이 Fe와 Mn을 제외하고는 거의 검출이 되지 않았다.

3.3 시료수의 유기물 미량 분석

시료수중 2와 4의 채취점에서 채수한 시료와 기존의 매립장 침출수에 대하여 Acetone, Butanone, Dichloromethane, Toluene, Chloroform, Ether, VOC 등을 미량 분석한 결과 2번 지점의 시료수의 경우 Acetone 100ppb, Butanone 100ppb, Toluene 80ppb, 4번 지점의 시료수

는 Chloroform 200ppb, Dichloromethane 20ppb와 Ether가 검출되었으며 침출수의 경우는 VOC 성분들만이 검출됨으로써 이들 VOC 성분들이 유출되는 과정에서 여러 가지 요인들에 의해 선택적으로 유출수 중에 잔류하는 것으로 추측된다.

3.4 악취 분석

악취의 성분으로 NH₃와 H₂S에 대한 분석을 함으로써 유출수가 기존의 매립장 침출수에 의한 것인지에 대한 여부를 판단하고자 한 결과 NH₃와 H₂S의 농도는 각각 11.75, 0.05ppm이었다.

NH₃는 단백질 등이 혐기성 분해될 때 발생하는 대표적 매립가스의 악취성분으로 특유의 자극성 냄새를 갖는 무색의 기체이며 후각적으로 냄새를 감지할 수 있는 하한농도인 TLV(Threshold Limit Value)값은 1~50ppm으로 400~1000ppm의 농도에서는 눈, 인후, 점막, 호흡기 등의 심한 자극과 2000ppm에서는 경련성기침, 폐수종, 피부발진, 혈담, 호흡장애 등을 유발하는 것으로 알려져 있다(유해화학물질편람, 1991 ; 김오식, 1997 등).

H₂S 역시 폐기물 매립지에서 발생하는 전형적인 성분으로 보통 계란 썩는 냄새로 알려져 있으며 눈, 호흡기 등의 자극과 매우 심한 악취를 내는 가스이다. H₂S의 TLV 농도는 0.025~0.1ppm으로 ACGIH(American Conference of Governmental Industrial Hygienists)에서 규정하고 있다(ACGIH, 1988 ; Frank, 1994).

따라서 NH₃와 H₂S 모두 각각의 TLV 범위에 해당되는 농도를 나타냄으로써 후각적으로 감지되는 악취성분들이 NH₃와 H₂S임을 알 수 있고 이들 가스가 모두 전형적인 매립가스의 악취성분임을 고려할 때 악취발생의 원인이 기존의 매립장 침출수가 공사장내로 유출됨으로써 발생하는 것으로 판단된다.

3.5 여과 실험

유리관에 현장에서 채취한 토사를 충전하고 이를 여과기로 사용하여 BOD와 COD가 각각 65.6, 380.0mg/L인 기존의 매립장 침출수를 여과시킨 후 여과액의 BOD와 COD를 측정한 결과 38.2와 335mg/L로 나타났다.

이때 토사 100g 당 시료수의 비율을 1L로 하였으며 이를 토사 단위무게당 제거량으로 환산하면 토사 1g 당 BOD 0.45mg/L, COD 0.274mg/L가 된다. 이 경우 BOD와

COD의 제거는 토사의 표면흡착과 토사입도에 의한 여과 효과가 복합적으로 작용한 것으로 생각할 수 있다.

따라서 기존의 매립장과 작은 능선을 경계로 현재 공사가 진행중인 매립장 건설현장의 절개사면에서 발생되고 있는 유출수들의 분석결과 전형적인 매립장 침출수와 같은 성분을 보이면서도 기존의 매립장 침출수에 비해 낮은 농도를 나타내고 있는 이유가 토사의 흡착 및 여과효과 때문인 것으로 해석된다.

4. 결 론

신축 매립장 부지내 공사장내 절개사면에서 유출되고 있는 유출수에 대하여 인접한 기존의 폐기물 매립장으로부터의 침출수 유입여부를 평가하기 위한 연구 수행결과 결론은 다음과 같다.

1. 공사지구 인근의 4개 하천수와 4개 지점의 지하수 수질 분석결과와 공사장내 4개 유출수 채취지점의 수질을 비교할 때 유출수의 오염도가 상대적으로 높은값을 나타내었고, 유출수의 유출지점에서 발생하는 악취에 대한

분석결과 NH₃와 H₂S의 농도가 각각 11.75 및 0.05 ppm으로 TLV 농도인 1~50ppm과 0.025~0.1ppm의 범위에 있으며 공사지구 인근에 폐기물 매립장외는 오염원이 없음을 고려할 때 이는 기존 매립장 침출수에 의한 것으로 판단된다.

2. 공사장내 토사를 이용한 BOD와 COD 제거 실험결과 토사 충전탑에서 BOD와 COD의 제거량은 토사 g당 각각 0.45mg/L와 0.274mg/L인 것으로 나타났으며, 유출수의 유기물 미량분석 결과 ppm 단위의 검출한계 이하 이었으나 침출수에서 발견되는 유기물들이 존재함을 확인할 수 있었다.

이상의 결과로부터 신축 매립장 공사장내 절개사면에서 발생되고 있는 유출수는 인접한 폐기물 매립장으로부터 침출수가 유입되는 것으로 판단되며, 공사시 이에 대한 대책이 선행이 되어야 된다고 사료된다.

(접수일자 : 2002. 6. 11)

참 고 문 헌

1. 환경부(1997), 사용종료 매립지의 적정사후관리방안.
2. 환경부(2000), 환경백서.
3. 환경부(2000), 사용종료 매립지 정비계획.
4. 김무훈, 이원권, 박대원(1998), 국내토양오염 유발시설별 오염현황조사, 00매립지 오염현황조사, 한국폐기물학회, Vol. 15, No. 4, pp. 300~308.
5. 연익준, 주소영, 김광렬(2002), 소규모 비위생 매립지의 환경 안정성 평가, 한국폐기물학회, Vol. 19, No. 2, pp. 234~243.
6. 고재영(2000), 우리나라 폐기물 매립시설 관리 현황 및 향후 추진계획, 2000년 폐기물 매립기술 심포지움, 한국폐기물학회.
7. Christensen, T.H., Cossu, R. and Stegmann, R.(1992), Landfilling of Waste : Leachate, Elsevier Science Publishers Ltd.
8. 최규철, 권오억, 김용환 외(1999), 수질오염공정시험방법주해, 동화기술.
9. 편집부 역(1999)대기오염공정시험방법, 동화기술.
10. 유해화학물질편람(1991), 동화기술.
11. 김오식(1997), 환경독성학개론, 동화기술.
12. ACGIH(1988), Industrial Ventilation 20th ed.
13. Frank Kreith(1994), Handbook of Solid Waste Management, McGraw-Hill.