

## 낙엽분해동안 미생물 활성에 미치는 중금속의 영향 추정<sup>1a</sup>

심재국<sup>2</sup> · 신진호<sup>3</sup> · 양금철<sup>3\*</sup>

### The Effect Estimation of Heavy Metals on the Microbial Activity during Leaf Litter Decomposition<sup>1a</sup>

Jae-Kuk Shim<sup>2</sup>, Jin-Ho Shin<sup>3</sup>, Keum-Chul Yang<sup>3\*</sup>

#### 요 약

본 연구는 충남 청양의 폐광산 지역과 인근 대조구에 분포하는 *Artemisia princeps* var. *orientalis*(쑥), *Equisetum arvense*(쇠뜨기)를 이용하여 식물체 내 중금속 함량이 미생물의 활성에 미치는 영향에 대해 알아보았다. 낙엽 회수시 측정된 호흡량은 처음 회수시 가장 높은 값을 나타내었으며, 시간이 지날수록 발생량은 감소하는 경향을 나타내었으며, 중금속의 함량이 높은 낙엽에서 미생물의 호흡량이 낮았으며 대조구에서 채집하여 대조구에서 분해시킨 쑥과 쇠뜨기에 서 가장 빠른 분해를 보인 것으로 나타났다. 쑥과 쇠뜨기 모두 중금속 함량이 적은 낙엽에서 높은 미생물량을 나타내었다. 낙엽의 분해율과 누적호흡량, 낙엽의 분해율과 미생물량사이에는 각각 뚜렷한 양의 상관관계를 나타내었다. 따라서 본 연구결과 식물체 내의 중금속이 분해과정에 관여하는 미생물의 성장과 활성에 부정적인 영향을 미친 결과라 할 수 있다.

주요어: 분해율, 미생물량, 미생물 호흡

#### ABSTRACT

This study was to find out influence of heavy metal concentration in plant on microbial activities during decomposition of *Artemisia princeps* var. *orientalis* and *Equisetum arvense* collected from an abandoned mine and control site in Cheongyang-gun Chungcheongnam-do. Microbial respiration rate showed the highest value at the time of the first collection, and then tended to decline over time. The highest microbial respiration rate appeared in leaf litters with low heavy metal contents, and *A. princeps* var. *orientalis* and *E. arvense* collected and decomposed at the control site showed the fastest decomposition rate. For both *A. princeps* var. *orientalis* and *E. arvense*, litters with low heavy metal content appeared to have higher microbial biomass. There was apparent quantitative correlation between decomposition rate and cumulative respiration rate of leaf litters, and between decomposition rate and microbial biomass of leaf litters. Thus, the study result showed that leaf litter with higher heavy metal content had a negative impacts on the growth and activity of microbial decomposer during decomposition processes.

**KEY WORDS: DECOMPOSITION RATE, MICROBIAL BIOMASS, MICROBIAL RESPIRATION**

1 접수 2011년 6월 30일, 수정(1차: 2011년 9월 16일, 2차: 2011년 12월 15일), 게재확정 2011년 12월 16일

Received 30 June 2011; Revised(1st: 16 September 2011, 2nd: 15 December April 2011); Accepted 16 December 2011

2 중앙대학교 생명과학과 Department of Life Science, Chung Ang Univ., Seoul(156-756), Korea

3 공주대학교 건설환경공학부 Department of Civil & Environmental Engineering, Kongju National Univ., Cheonan(330-717), Korea

a 이 논문은 2007년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 313-2007-2-C00738).

\* 교신저자 Corresponding author(yangkc@kongju.ac.kr)

## 서론

낙엽 분해의 과정은 생태계 내에서 필수 원소의 순환에 가장 중요한 과정으로 식물의 성장과 분해의 균형을 통해 안정성을 제공한다(Swift *et al.*, 1979; Berg and McLaugherty, 2003). 식물은 뿌리를 통해서 뿐만 아니라 대기로부터 중금속을 흡수한다. 따라서 오염원으로부터의 거리에 따라 식물체내의 중금속 함량에 뚜렷한 차이가 나타난다(Berg *et al.*, 1991; Berg and McLaugherty, 2003).

최근 급속히 발전하는 산업 활동으로 인해 중금속은 자연 환경 내에 널리 퍼져있다(Laskowski and Berg, 1993). 중금속은 일반적으로 유기물의 분해에 중요한 역할을 하는 토양 내 미생물을 포함한 생물군에 광범위하게 독성을 나타내는 것으로 알려져 있다(Zwolinski, 1994). 중금속에 의해 오염된 환경에서는 중금속이 토양 내 미생물의 활성을 억제하거나 영양원소 순환을 매개하는 효소를 불활성화시켜 분해율을 낮춤으로써 토양유기물 축적을 증가시키는 원인이 된다(Rühling and Tyler, 1973; Coughtrey *et al.*, 1979; Grodzinski *et al.*, 1990; Cortufo *et al.*, 1995).

국내에서 식물체 내의 중금속에 대한 연구는 주로 폐광산 지역과 그 주변 하천에서 중금속 흡수를 조사한 연구(Lee and Lee, 1996; Kim *et al.*, 1997; Ok *et al.*, 2003; Jeon and Choi, 2006; Kim *et al.*, 2006)와 중금속을 함유한 토양에서 식물의 생물량 생산에 관한 연구(Mun, 1988; Kim and Shim, 2008)가 있으며, Shim *et al.*(2010)에 의하면 이 지역의 토양내 중금속 함량은 광미에서 대조구 토양에 비해 Arsenic는 약 13배, Cadmium은 28배, Chrome, Nickel, Zinc의 경우 약 3.2~6.4배 높은 것으로 나타났으며, 식물체에서는 Arsenic는 썩 잎의 경우 폐광지역에서 채취한 식물체에서 23배 높게 나타났으며, Cadmium은 25배 높게 나타났다. 쇠뜨기의 경우 Arsenic은 58배, Cadmium은 11배가 폐광지역에서 채취한 식물체에서 높게 나타난 것으로 연구되었다. 본 연구와 유사한 연구로는 도시 공원에서 토양내 중금속이 미생물의 생체량과 활성에 미치는 영향에 관한 연구(Kim and Paul, 1992)가 있으나 중금속에 의해 영향을 받는 미생물과 낙엽분해와의 관계에 대한 연구는 미미한 실정이다.

따라서 본 연구는 폐광산 지역에 분포하는 식물과 대조구 식물의 분해 중에 미생물 호흡량과 효소활성을 측정하고, 미생물량(microbial biomass)을 추정하여 분해 중인 낙엽에서 미생물의 생물학적 활성과 중금속과의 관계에 대해 연구하였다.

## 재료 및 방법

실험 장소는 충청남도 청양군 운곡면 신대리 일대에 대조구와 실험구를 선정하여 실험하였다(Shim *et al.*, 2010). 실험구의 경우 폐광지역이며, 폐광이 되기 전 이곳은 금, 은, 아연 광산으로 등록되어 운영되다가 2001년 폐광되었다(Kwon, 2006).

실험에 사용된 식물 종은 실험구와 대조구 양쪽 모두에 분포하며 식물체내의 중금속 함량 차이가 큰 *Artemisia princeps* var. *orientalis*(썩)과 *Equisetum arvense*(쇠뜨기)를 선택하였다. 현장 내 분해 실험은 교차실험을 실시하였다. 즉 대조구에서 채집한 썩과 쇠뜨기를 각각 대조구(CC)와 광미(PC)에서 분해시켰으며, 광미에서 채집한 썩과 쇠뜨기를 각각 대조구(CP)와 광미(PP)에서 분해 실험을 실시하였다. 실험에 사용된 낙엽주머니는 polyethylene 재질의 1mm×1mm의 mesh size를 가졌으며, 15cm×15cm의 크기로 제작하여 낙엽을 각각 3g씩 사용하였다.

호흡량은 포장용수량(WHC)의 90%가 되도록 수분함량을 조절된 모래 400g을 넣은 1L 용량의 유리병에 회수 직후의 신선한 litter bag을 위치시킨 후 25 °C 항온실에서 3일간 순응시켰다. 순응기간이 끝난 후 유리병을 CO<sub>2</sub>를 제거한 공기로 세척하고 밀폐한 후 단위시간당 litter로부터 발생한 CO<sub>2</sub>를 LI-840(LiCor, Germany)으로 정량하였다. CO<sub>2</sub>의 측정단위는  $\mu\text{l CO}_2\text{-C} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 로 표현하였으며, 누적 호흡량은  $\mu\text{l CO}_2\text{-C} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{days}^{-1}$ 로 환산하여 낙엽의 분해와 누적호흡량의 관계에 대해 살펴보았다.

Microbial biomass C의 분석은 Substrate-induced respiration(SIR) method(Beare *et al.*, 1990)를 이용하여 측정하였다. 회수한 신선한 litter sample(0.5g)을 100ml 용량의 유리병 4개에 각각 넣고, 각 유리병에 일정량(2.5ml solution/g litter)의 D.W., streptomycin solution(3.2g streptomycin/L), cycloheximide solution(16.0g cycloheximide/L), streptomycin solution(3.2g streptomycin/L) + cycloheximide solution(16.0g cycloheximide/L)을 첨가한 후, 4 °C에서 12시간 동안 incubation 하였다. 12시간 후 상온에서 각 유리병에 2.5ml solution/g litter의 glucose solution(16.0g glucose/L)를 첨가한 후, CO<sub>2</sub>-free gas로 유리병내를 flushing하고 입구를 봉하여 2시간동안 23°C에서 incubation 하였다. Incubation 종료시간에 유리병 안의 gas를 채취하여 IRGA(LI-840; LiCor; Germany)로 CO<sub>2</sub>의 발생량을 측정하여 SIR(Total, bacterial(prokaryotic) and fungal(eucaryotic))을 구하였고, 이 호흡량을 Microbial biomass C로 환산하기

위하여

$Cmic [\mu\text{g C g}^{-1} \text{ dry litter}] = 14.3 \text{ SIR rate } [\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1} \text{ dry litter h}^{-1}] - 765.1$  (Cmic, Microbial biomass C.; SIR rate, measured respiration used SIR method)

을 사용하였다(Beare *et al.*, 1990). 실험 결과의 통계처리는 SPSS ver. 12.0 한글판(SPSS Inc.)을 이용하여, 선형회귀분석과 상관분석을 하였으며, 유의수준 1%와 5%로 검정하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 낙엽의 분해와 호흡량

낙엽 분해 과정 중 발생하는 CO<sub>2</sub>를 각 회수 시마다 측정하였다. 그 결과 회수시의 호흡량은 첫 회수시 가장 높았으며, 이후로 발생량은 점차 감소하는 경향을 보였다. 대조구와 광미에서 채집한 썩과 쇠뜨기 모두 대조구에 놓아 분해시킨 결과 뚜렷한 차이를 보였다. 즉 대조구에서 채집한 식물체가 광미에서 채집한 식물체보다 높은 누적호흡량을 나

타내었다(Figure 1). 이것은 분해 후기로 갈수록 낙엽에 축적된 중금속 함량이 리그닌과 같은 난분해성 유기물을 분해하는 미생물의 작용을 억제하여 분해를 더욱 느리게 한다는 연구결과(Berg *et al.*, 1991; Berg and McLaugherty, 2003; Berg and Laskowski, 2006)와 일치한다고 할 수 있다. 그러나 광미에 놓아 분해시킨 썩과 쇠뜨기의 누적호흡량은 유의한 차이를 나타내지 않았다.

Shim *et al.*(2010)에 의해 연구된 낙엽분해량과 누적호흡량은 실험에 사용된 식물체 모두에서 양의 상관관계를 보였으며, 결정계수(R<sup>2</sup>)는 광미에서 채집하여 대조구에서 분해시킨(CP) 썩과 쇠뜨기에서 각각 R<sup>2</sup> = 0.98과 R<sup>2</sup> = 0.98로 가장 큰 값을 보였으며, 대조구에서 채집하여 대조구에서 분해시킨(CC) 썩과 쇠뜨기에서 가장 빠른 분해를 보인 것으로 조사되었다(Table 1, Figure 2). 본 연구에서는 낙엽분해시 광미에서 채집하여 대조구에서 분해시킨(CP) 썩과 쇠뜨기가 분해율이 클수록 발생한 호흡량이 많다는 것을 알 수 있다. 결정계수의 값이 높게 나타난 것은 첫째, 분해실험시 향량 건조시킨 낙엽을 사용하여 낙엽 분해의 초기값을 0으로 하고, 그 때의 초기 호흡량 역시 완전히 건조된 상태

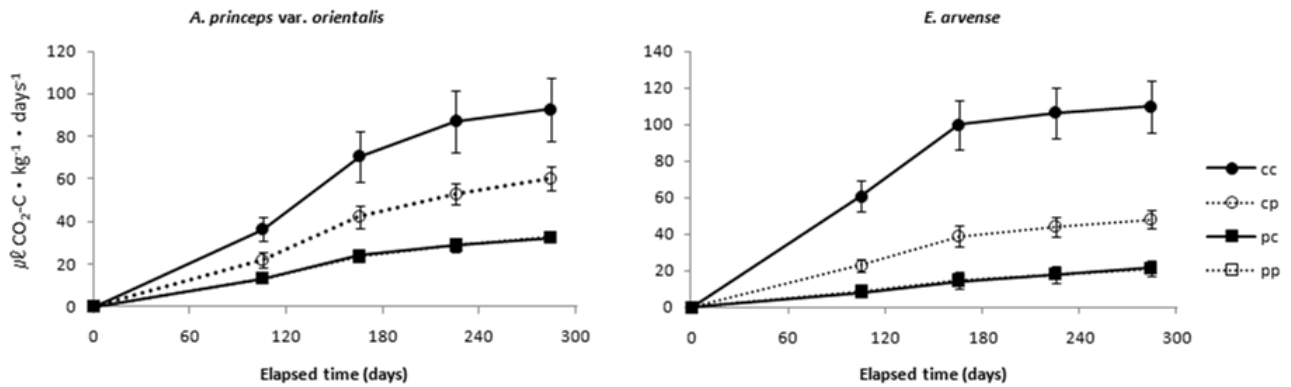


Figure 1. Accumulated microbial respiration of each plant litter in polluted and control site. CC- non-polluted plant leaf litter on the control site. CP- polluted plant leaf litters on the control site. PC- non-polluted plant leaf litter on the polluted site. PP- polluted plant leaf litters on the polluted site. Bars indicate standard deviation(n=3). Bars are not shown because bar is smaller than symbols. PP is not shown because it was similarly PC value

Table 1. Linear regression between mass loss and accumulated microbial respiration of *A. princeps var. orientalis* and *E. arvense*. For symbols see legend of Figure 1

	<i>Artemisia princeps var. orientalis</i>		<i>Equisetum arvense</i>	
	R <sup>2</sup>	coefficient	R <sup>2</sup>	coefficient
CC	0.915*	1.549	0.958**	1.294
CP	0.982**	1.233	0.982**	0.625
PC	0.777*	0.533	0.942**	0.276
PP	0.806*	0.959	0.974**	0.310

\* p < 0.05, \*\* p < 0.01

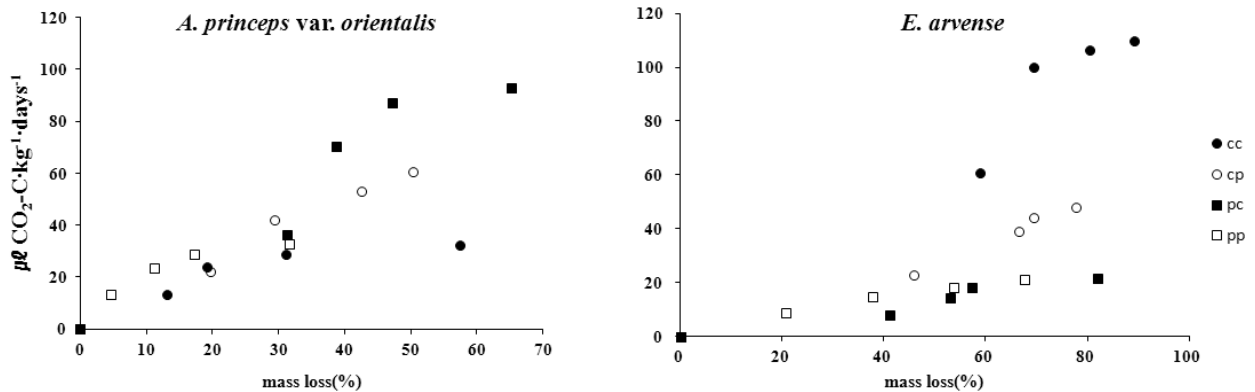


Figure 2. Correlation between mass loss and accumulated microbial respiration at each species and decomposed site. For symbols see legend of Figure 1

에서 미생물의 호흡이 없기 때문에 0으로 하여 결정계수 값이 높게 형성된 것으로 생각되며 둘째, 호흡량을 순간의 값이 아니라 누적된 호흡량으로 표현하였기 때문에 시간이 지남에 따라 중량감소(mass loss)량의 증가와 누적 호흡량(accumulated respiration)의 증가가 유사한 경향을 나타내어 결정계수가 높게 나온 것으로 판단된다.

본 연구에서는 식물체 내의 중금속의 함량이 높은 경우 낙엽의 분해는 느리게 나타났는데, 이는 식물체 내의 중금

속 함량이 높을수록 낙엽의 분해가 느리게 되며(Shim *et al.*, 2010), 낙엽분해 미생물에 대하여 독성을 유발하거나 영양염류의 순환에 반응하는 효소를 불활성화시켜(Rühling and Tyler, 1973; Berg and McLaugherty, 2003; Berg and Laskowski, 2006) 낙엽의 분해를 억제함으로써 토양유기물 축적의 원인이 된다고 밝힌 연구와 같은 맥락으로 설명할 수 있다. 본 연구에서 낙엽분해에 따른 분해량은 Shim *et al.*(2010)에 제시된 낙엽분해량을 따랐다.

Table 2. Linear regression between mass loss and accumulated MB-C of *A. princeps var. orientalis* and *E. arvense*. For symbols see legend of Figure 1

	<i>Artemisia princeps var. orientalis</i>		<i>Equisetum arvense</i>	
	R <sup>2</sup>	coefficient	R <sup>2</sup>	coefficient
CC	0.946**	26.265	0.958**	53.863
CP	0.983**	17.681	0.970**	34.754
PC	0.858*	2.411	0.927**	17.011
PP	0.862*	13.166	0.964**	12.286

\* p < 0.05, \*\* p < 0.01

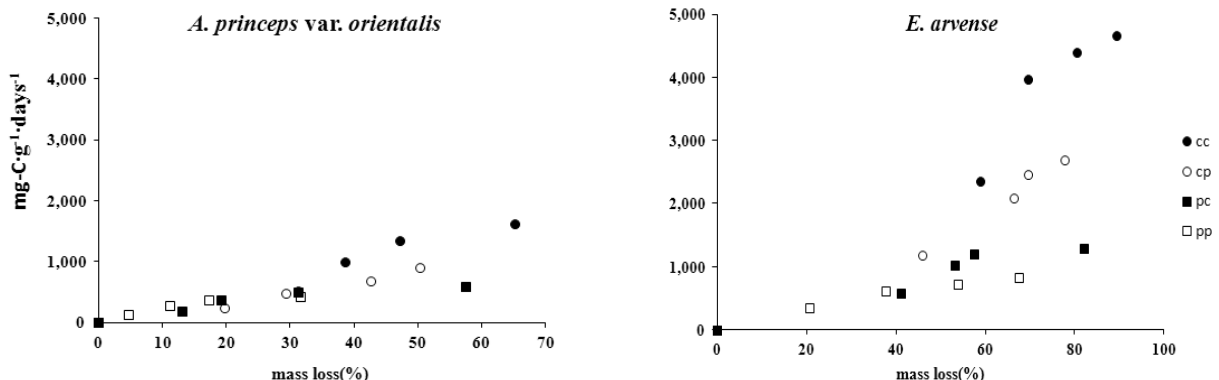


Figure 3. Correlation between mass loss and accumulated microbial biomass C on decomposing litter at 284 days after experiment. For symbols see legend of Figure 1

## 2. 낙엽의 분해와 Microbial biomass C

식물체의 분해에 직접적으로 작용하는 미생물의 양을 살펴보기 위해 회수한 식물체를 SIR method를 이용하여 microbial biomass C를 측정하였다. 두 식물체 모두 중금속 함량이 적은 낙엽(Shim *et al.*, 2010) 에서 microbial biomass C의 값이 높게 측정되었다. Microbial biomass C와 낙엽의 분해율과는 뚜렷한 양의 상관관계를 나타내었다. R<sup>2</sup>값은 광미에서 채집하여 대조구에서 분해시킨 썩(CP)에서 0.983으로 가장 높게 나타났다(Table 2 and Figure 3).

본 연구 결과 중금속의 함량이 높은 식물체 일수록 호흡량, 미생물양 모두 작은 것으로 나타났으며, 분해율과 이들 관계는 뚜렷한 양의 상관관계를 나타내었다. 이러한 결과는 분해과정에 관여하는 미생물의 활성이 중금속에 의해 영향을 받는다는 연구결과(Odum, 1985; Chander and Brookes, 1991; Bardgett and Sagggar, 1994; Insam *et al.*, 1995)와 같은 의미로 해석할 수 있다.

## 감사의 글

이 논문은 2007년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 313-2007-2-C00738).

## 인용문헌

Bardgett, R.D. and S. Sagggar(1994) Effects of heavy metal contamination on the short-term decomposition of labelled [<sup>14</sup>C] glucose in pasture soil. *Soil Biology and Biochemistry* 26: 727-733.

Beare, M.H., C.L. Neely, D.C. Coleman and W.L. Hargrove(1990) A Substrate-Induced respiration (SIR) method for measurement of fungal and bacterial biomass on plant residues. *Soil Biol. Biochem.* 22: 585-594.

Ber, B., G. Ekbohm, B. Soderstrom and H. Staaf(1991) Reduction of decomposition rates of Scots pine needle litter due to heavy-metal pollution. *Water Air and Soil Pollution* 59: 165-177.

Berg, B. and C. McLaugherty(2003) *Plant litter: decomposition, humus formation, carbon sequestration.* Springer, pp. 203-212.

Berg, B. and R. Laskowski(2006) *Litter decomposition a guide to carbon and nutrient turnover.* Advances in ecological research 38. Elsevier Academic Press, pp. 104-114.

Chander, K. and P.C. Brookes(1991) Microbial biomass dynamics during decomposition of glucose and maize in metal-contaminated soils. *Soil Biology and Biochemistry* 23: 917-925.

Cotrufo, M.F., A. Virzo de Santo, A. Alfani, G. Bartoli and C. Annunziata(1995) Effects of urban heavy metal pollution on organic matter decomposition in *Quercus ilex* L. woods. *Environmental Pollution* 89: 81-87.

Coughtrey, P.J., C.H. Jones, N.H. Martin and S.W. Shales(1979) Litter accumulation in woodlands contaminated by Pb, Zn, Cd, and Cu. *Oecologia* 39: 51-60.

Grodzinski, W., J. Greszta, R. Laskowski, M. Maryaski and A. Rocen(1990) Effect of the chemical composition of industrial dusts on forest floor organic matter accumulation. *Water Air Soil Pollution* 53: 169-178.

Insam, H., T.C. Hutchinson and H.H. Reber(1995) Effects of heavy metal stress on the metabolic quotient of the soil microflora. *Soil Biology and Biochemistry* 28: 691-694.

Jeon, B.D. and J.S. Choi(2006) Effects of elevated cadmium concentration in nutrient solution on growth and cadmium accumulation of young pear tree. *Kor. J. Hort sci. Technol.* 24: 364-369. (in Korean with English abstract)

Kim, J.M. and J.K. Shim(2008). Toxic effects of serpentine soils on plant growth. *J. Ecol. Field Biol.* 31: 327-331.

Kim, J.M., K.C. Yang, S.K. Choi, M.H. Yeon, J.H. Shin and J.K. Shim(2006) Plant uptake of heavy metals in Andong serpentine soil. *Korean J. Environ. Biol.* 24: 408-415. (in Korean with English abstract)

Kim, M.H., I.S. Min and S.H. Song(1997) Heavy metal contents of *Gypsophila oldhamiana* growing on soil derived from serpentine. *Korean J. Ecol.* 20(5): 385-391. (in Korean with English abstract)

Kim, O.K. and B. Paul(1992) The effects of heavy metals on microbial biomass and activity in contaminated urban park soils. *Korean J. Ecol.* 15(1): 267-279.

Kwon, G.C.(2006) A study on stabilization of contaminated soils in the vicinity abandoned metaliferous mines. MS thesis. Semyung University, Chung-buk, Korea. (in Korean with English abstract)

Laskowski, R. and B. Berg(1993) Dynamics of mineral nutrients and heavy metals in decomposition forest litter. *Scand J. For Res.* 8: 446-456.

Lee, S.Y. and I.S. Lee(1996) Studies on Cd and Zn removal ability and detoxification of *Oenanthe stolonifers*. *Korean J. Ecol.* 19(6): 519-527. (in Korean with English abstract)

Mun, H.T.(1988) Comparisons of primary production and nutrients absorption by a *Miscanthus sinensis* community in different soils. *Plant Soils* 112: 143-149.

Odum, E.P.(1985) Trends expected in stressed ecosystems. *Bio-science* 35: 419-422.

Ok, Y.S., S.H. Kim, D.Y. Kim, H.N. Lee, S.K. Lim and J.G. Kim(2003) Feasibility of phytoremediation for metal-contaminated abandoned mining area. *Korean J. Soil Sci. Fert.*

- 36(5): 323-332. (in Korean with English abstract)
- Rühling, A. and G. Tyler(1973) Heavy metal pollution and decomposition of spruce needle litter. *Oikos* 24: 402-416.
- Shim, J.K., J.H. Son, J.H. Shin and K.C. Yang(2010) The effect of heavy metal content on the decomposition of plant litter the abandoned mine. *Kor. J. Env. Eco.* 24(3): 279-285. (in Korean with English abstract)
- Swift, M.J., O.W. Heal and J.M. Anderson(1979) Decomposition in terrestrial ecosystems. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Zwolinski, J.(1994) Rates of organic matter decomposition in forests polluted with heavy metals. *Ecological Engineering* 3: 17-26.