

유류오염토양이 식물식생에 미치는 영향에 관한 연구

최민주¹ · 김주영¹ · 김정훈^{1*} · 최상일²

¹(주)동명엔터프라이즈 기흥연구소, ²광운대학교 환경공학과

A Study on Effects of Oil Contaminated Soil on the Growth of Plant

Min-Zoo Choi¹ · Joo-Young Kim¹ · Jung-Hoon Kim^{1*} · Sang-Il Choi²

¹Giheung Environmental Research, Dong Myung Enterprise Co., LTD

²Dept. of Environmental Engineering, Kwangwoon University

ABSTRACT

Oil contamination soil has been one of the most environmental social issues for decades in the inside and outside of country. The law of soil environmental preservation was carried out in the 1990s and the government controlled not only soil environment management and the remediation of contaminated soil but also promoted the development of remedial technology and cleanup business of contaminated soil by national policy. In addition to agriculture areas, the main oil contaminated sites are a gas station, oil reservoir, petro-chemical complex, site of railway carriage base and military camp. The contamination-frequency of agriculture area and effect sites are low but it has significantly important area on account of producing food for human beings. Therefore, we should be concerned about oil contamination damage of agriculture area. The oil contamination damage of agriculture area influenced drop of birth and breeding since the oil directly adheres to seeds and farm products even diffusion of contaminated soil to cultivation area. The studies of the crops and the food vegetation has not enough detailed data caused by the incident of oil contamination. This study investigated the effect of oil in germination and growth of selected plant seeds. In this study, we try to verify whether the oil contamination by accidents on farmland influenced the damage of farm produce and the mutual relation both oil contaminated soil or the vegetation of crops. The impact of oil on plant development was followed by phytotoxicity assessments. The plants exhibited visual symptoms of stress, growth reduction and perturbations in developmental parameters. The increase of the degree of pollution induced more marked effects in plants, likely because of the physical effects of oil. The relationships between the phytotoxicity contents of plants and growth reduction suggest a chemical toxicity of fuel oil. In addition, while cleaned up the contaminated soil under the standard of contaminated soil we examined it was suitable for region standard and it may have practical possibility for fill material of construction of afforestation and molding soil of landfill.

Key word : Oil contaminated soil, Agriculture area, Farm produce, Plant Growth

1. 서 론

토양오염은 다른 수질, 대기 등의 환경오염과 다르게 오염물질의 거동 및 영향이 수질과 대기를 통한 피해보다 상대적으로 노출 속도가 느리고 전달 경로도 복잡하다. 따라서 그 조사와 정확한 진단 및 확인이 매우 어렵다. 토양에 오염물질이 노출되면 미생물을 비롯한 생물의 활성이 저하되고, 오염 물질들이 축적됨에 따라 자정능력을 상실한다(조원실 외, 2008). 토양오염은 주로 지하에서 일어

나기 때문에 확인이 어렵다. 따라서 오염이 상당히 진행된 후에 확인이 되는 경우가 대부분이다. 유류에 의한 토양오염은 시간의 흐름에 따라 토양자체의 오염뿐만 아니라 지하수 오염, 지표수 오염, 대기 오염 등 2차 오염을 확산 시킨다(Byun 2008). 토양오염의 주된 원인으로는 유해한 화학물질의 대량생산과 다양한 폐기물의 기하급수적 증가, 폐광산 오염물질의 확산 등이 있는데 그 중 가장 심각한 문제를 일으키는 것은 유류사고에 의한 오염이다(Katy et al., 2008; Xiao et al., 2005). 유류는 각종 산

*Corresponding author : kimjh7811@hanmail.net

원고접수일 : 2009. 11. 27 심사일 : 2010. 1. 25 게재승인일 : 2010. 2. 24

질의 및 토의 : 2010. 4. 30 까지

업원료로써 그 사용량의 증가와 더불어 상당량이 자연환경에 노출되어 피해를 일으키고 있다. 유류는 특성상 수용성이 낮아 토양에 유입이 되면 토양에 잔류하거나 지하로 침투되어 지하수 오염의 원인이 된다. 유류오염 지역 중 농경지에서의 유류오염은 직접 또는 간접으로 오염이 확산되어 문제가 발생된다(홍선화 외, 2007; 황철원 외, 2007; Anna et al., 2007). 최근 토양에 집약적인 영향을 주는 집약적 농업 즉, 비닐하우스 재배농법의 증가로 난방용 경유 사용이 늘어 난방용 경유로 인한 토양오염이 위험수준에 다다랐다. 유류가 농촌지역에 토양오염 및 수질오염의 새로운 주범으로 대두되어 있는 실정이다. 이러한 농촌의 유류로 인한 토양오염은 토양을 매체로 시작하여 관개수, 지하수, 하천을 오염시켜 최종적으로 해양오염으로 이동함으로써 국부적인 토양오염이 확산되는 경우도 발생할 수 있다(심남식, 2006; Kyung et al., 2004). 유류가 직접 종자 및 식물체에 부착 또는 침투되어 발아를 억제하거나, 생육장애를 일으키기도 하며, 토양의 수분과 접촉하여 수표면을 피복하여 식물이 토양으로부터 산소공급을 방해하기도 한다. 농작물 중 벼의 경우에는 논에 유입된 유류가 경엽을 따라 상승하여 유막을 형성하여 엽신단이 감기고 갈색반점이 생기며, 심하면 황백화 되어 하엽이 고사하게 된다(이종식 외, 2006; Karen et al., 2009). 또한 유류로 인한 토양오염은 수온 및 지온을 상승시켜 토양의 이상 환원을 촉진하여 근부현상을 일으키거나 토양의 물리적 특성을 악화시키는 등의 간접적인 피해가 있다고 알려져 있다(김복영 외, 1989). 본 연구에서는 유류오염사고로 농경지에 유입된 유류로 인한 주변 농작물의 식생과의 관계를 알아보려고 하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 실험재료

실험에 사용한 토양은 용인시 고매동의 청청한 산토양을 채취하여 Sieve No.4 4.75 mm체로 쳐서 굵은 자갈은 제외시키고 사용하였다. 사용한 토양의 기본적 특성은 Table 1과 같다. 토양오염은 S주유소의 휘발유와 경유를 구매하여 일정하게 오염시키기 위하여 n-hexane을 이용하여 녹인 후 토양과 충분한 혼합을 하여 실험에 이용할 농도를 각각 제조하였다. 오염토양은 용매(n-hexane)를 휘발시키고 1개월 이상 경과된 토양(냉장보관)을 토양오염 시험기준에 따라 GC(Varian CP-8400)를 이용하여 농도를 확인 후 실험에 사용하였다.

실험에 사용된 씨앗은 비교적 발아가 빠른 식물씨앗을

선정하였다. 씨앗은 상추(적상추, *Lactuca sativa*), 배추(엇갈이배추, *Eotgari Baechu*), 잔디(한국들잔디, *Zoysiagrass*)로 3종으로 실험하였다. 유류의 종류는 유류오염사고 빈도가 잦은 휘발유와 경유를 선정 실험하였고, 비교대상으로 대조군 실험을 병행하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 발아실험

유종에 따른 식물의 발아에 미치는 영향을 확인하기 위하여 식물씨앗을 휘발유와 경유에 각각 1시간씩 담가놓았다. 페트리디쉬(Petri Dish)에 솜을 얇게 깔고 증류수 20 ml로 적신 후 유류에 담가 놓았던 씨앗을 옮겨놓았다. 씨앗을 각각 20개씩 파종한 후 25°C의 발아시험기 내에서 씨앗의 발아율을 관찰하였다. 광원으로는 백열등을 사용하여 12시간씩 빛과 암소조건을 반복하였다. 페트리디쉬(Petri Dish)내의 수분 감소에 따라 2일에 1회 5 ml씩 수분공급을 하였다. 유류의 휘발에 대한 보정은 대조군을 이용하여 계산하였다.

2.2.2. 발아 및 생육실험

유종과 유류농도가 식물의 발아 및 생육에 미치는 영향을 확인하기 위하여 휘발유와 경유의 오염도를 각각 달리 하여 실험하였다. 일정농도로 유류오염토양을 제조하여 화분에 씨앗을 파종하여 씨앗의 발아와 생육을 관찰하였다. 씨앗의 발아율은 전체 20개 씨앗 중 발아 및 성장한 것을 확인하였다. 휘발유의 오염농도는 BTEX 기준으로 20, 180, 340, 1,020 mg/kg으로 제조하였고, 경유는 TPH 기준으로 500, 2,000, 6,000, 10,000 mg/kg으로 제조하여 실험에 사용하였다. 실험조건은 자연광, 햇빛을 받도록 하였고, 수분의 공급은 분무기를 이용하여 각 화분마다 1일 1회 약 20 ml의 수분을 공급하여 토양이 건조하여 발아의 영향에 미치지 않도록 하였다. 실험기간의 온도는 25°C~30°C를 유지하였다.

2.2.3. 이격거리에 따른 발아 및 생육실험

유류오염토양과의 이격거리가 식물의 발아 및 생육에 미치는 영향을 확인하기 위하여 씨앗과의 거리를 씨앗으로부터 하부방향 깊이가 2 cm, 5 cm, 10 cm로 하여 실험하였다. 씨앗의 개수는 20를 파종하여 실험하였다. 휘발유 오염토양의 오염농도는 BTEX 기준으로 2,000 mg/kg로 하였고, 경유는 TPH 기준으로 10,000 mg/kg의 토양을 실험에 사용하였다. 실험조건은 발아 및 생육실험의 조건과 같다.

Table 1. Physical characteristics of soil

Soil pH	Organic Matter (%)	Soil Texture	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)
7.52	8.47	Loamy Sand	76.8	12.8	10.4

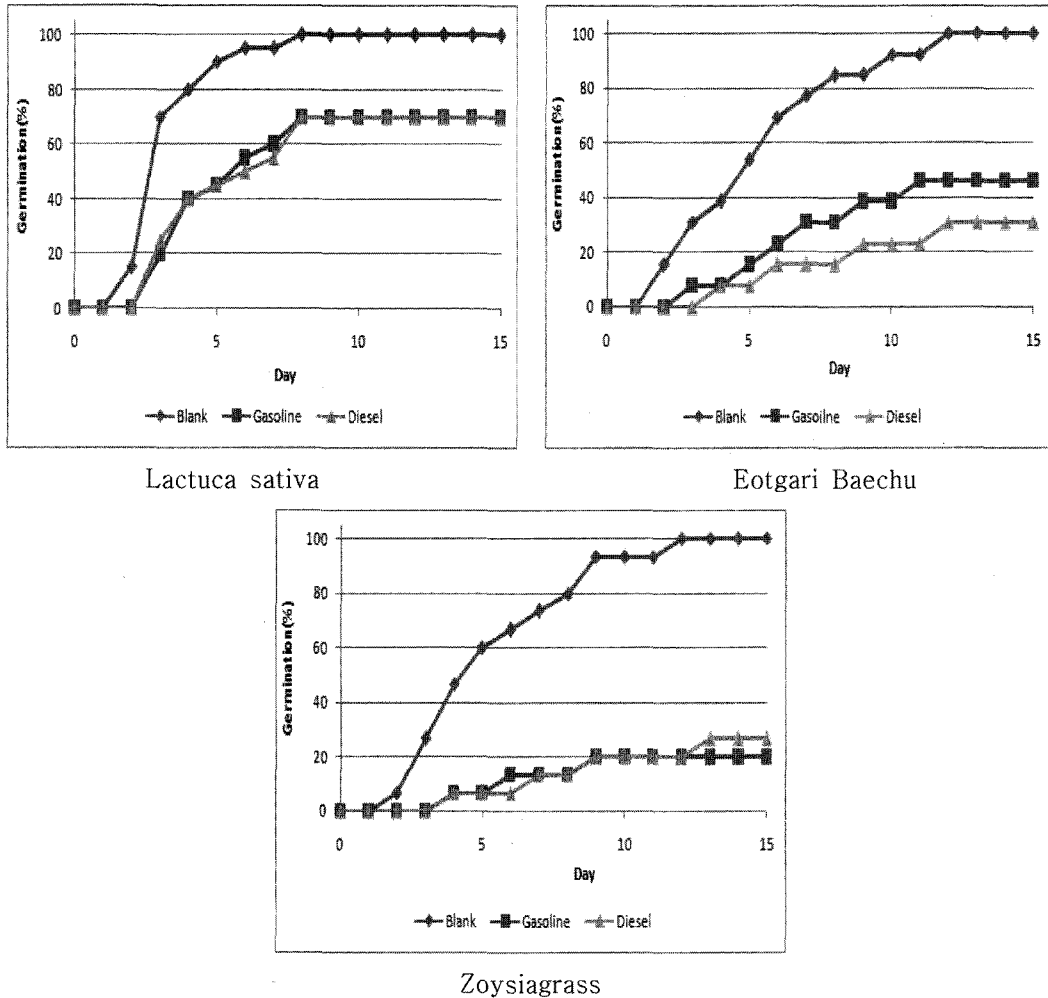


Fig. 1. Influence of oil on seed germination.

3. 결과 및 고찰

3.1. 발아실험

유류에 1시간 담가 놓은 씨앗의 발아율 실험결과 상추는 휘발유와 경유 모두 70%로 유종의 차이는 없었으나 오염시키지 않은 씨앗과는 30%의 발아율 차이를 보여주었다. 발아율은 전체 20개 씨앗 중 발아가 된 씨앗의 개수를 확인하여 나타내었다. 상추씨앗의 경우 발아 종료시점이 다른 두 씨앗보다 빠르게 나타났다. 즉, 상추씨앗은 약 8일, 배추씨앗은 약 13일, 잔디씨앗은 약 12일 정도에 발아가 100% 완료되었다. 오염시켰던 씨앗의 발아율은 9일에 휘발유와 경유가 모두 70%를 나타내었다. 배추씨앗

은 휘발유와 경유의 발아율이 각각 46%, 30%로 나타났다. 배추씨앗은 휘발유의 영향을 조금 더 받는 것으로 나타났다. 잔디씨앗의 발아율은 휘발유 20%, 경유 26%의 발아율을 나타내었다. 잔디씨앗이 다른 두 씨앗보다 유류의 영향을 가장 크게 받았다. 휘발유와 경유 모두 잔디씨앗의 발아에 많은 영향을 끼친 것으로 보이며, 잔디 씨앗이 상추와 배추씨앗보다 작고 얇기 때문에 유류의 영향이 더 크게 작용한 것으로 판단된다.

상추씨앗과 잔디씨앗은 휘발유와 경유로 인한 발아의 영향이 비슷하게 나타났으나 배추씨앗은 유종별로 차이를 나타내었다. 씨앗의 발아의 시작이 모두 대조군과 비교하여 1일내지 2일정도 늦게 시작된 것은 유류의 유막으로

인하여 발아가 억제되었다고 판단된다. 이후 유류의 휘발이 일어난 후 발아가 시작되나 대조군과 많은 차이를 보였다. 씨앗의 발아율이 대조군과 실험군의 발아율 정도는 유류의 영향으로 인한 발아의 억제는 확인되었다.

3.2. 발아 및 생육실험

오염토양을 제조하여 휘발유와 경유의 단계별 농도(휘발유 BTEX 기준으로 20, 180, 340, 1,020 mg/kg, 경유 TPH 기준으로 500, 2,000, 6,000, 10,000 mg/kg) 제조에

Table 2. Germination of *Lactuca sativa* in contaminated soil (20 days) [unit:mg/kg]

Gasoline (BTEX)	20	180	340	1,020
Germination	60%	10%	0%	0%
Disel (TPH)	500	2,000	6,000	10,000
Germination	85%	85%	75%	45%

※ Planted 20 seeds in each pot

Table 3. Growth of *Lactuca sativa* in contaminated soil(25 days, ± 0.2 cm, ± 0.02 g) [unit:mg/kg]

Gasoline (BTEX)	20	180	340	1,020
Leaf width (cm)	1.95	1.23	—	—
Weight (g)	0.095	0.039	—	—
Disel (TPH)	500	2,000	6,000	10,000
Leaf width (cm)	2.21	1.83	1.35	0.87
Weight (g)	0.127	0.096	0.054	0.039

※ Blank-leaf (cm) : 2.58, weight (g) : 0.147

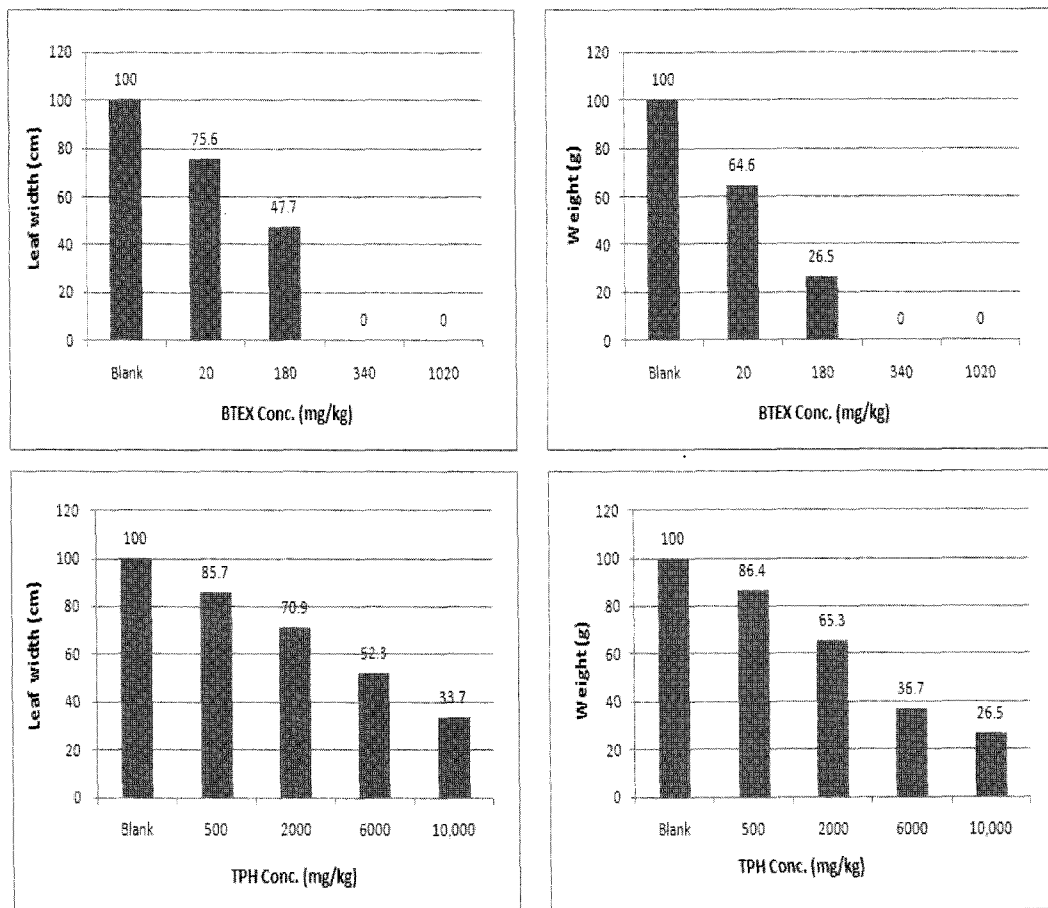


Fig. 2. Growth of *Lactuca sativa* in contaminated soil (25 days).

Table 4. Germination of *Lactuca sativa* in contaminated soil (20 days)

[unit:mg/kg]

Gasoline (BTEX) 2,000 mg/kg	Upper (2 cm)	Middle (5 cm)	Lower (10 cm)
Germination	10%	45%	85%
Diesel (TPH) 10,000 mg/kg	Upper (2 cm)	Middle (5 cm)	Lower (10 cm)
Germination	50%	65%	90%

※Planted 20 seeds in each pot

Table 5. Growth of *Lactuca sativa* in contaminated soil (25 days, ± 0.2 cm, ± 0.02 g)

[unit:mg/kg]

Gasoline (BTEX) 2,000 mg/kg	Upper (2 cm)	Middle (5 cm)	Lower (10 cm)
Leaf width (cm)	0.72	1.24	1.94
Weight (g)	0.046	0.078	0.095
Diesel (TPH) 10,000 mg/kg	Upper (2 cm)	Middle (5 cm)	Lower (10 cm)
Leaf width (cm)	1.23	1.51	2.13
Weight (g)	0.051	0.095	0.114

※Blank - leaf (cm): 2.58, weigh (g): 0.147

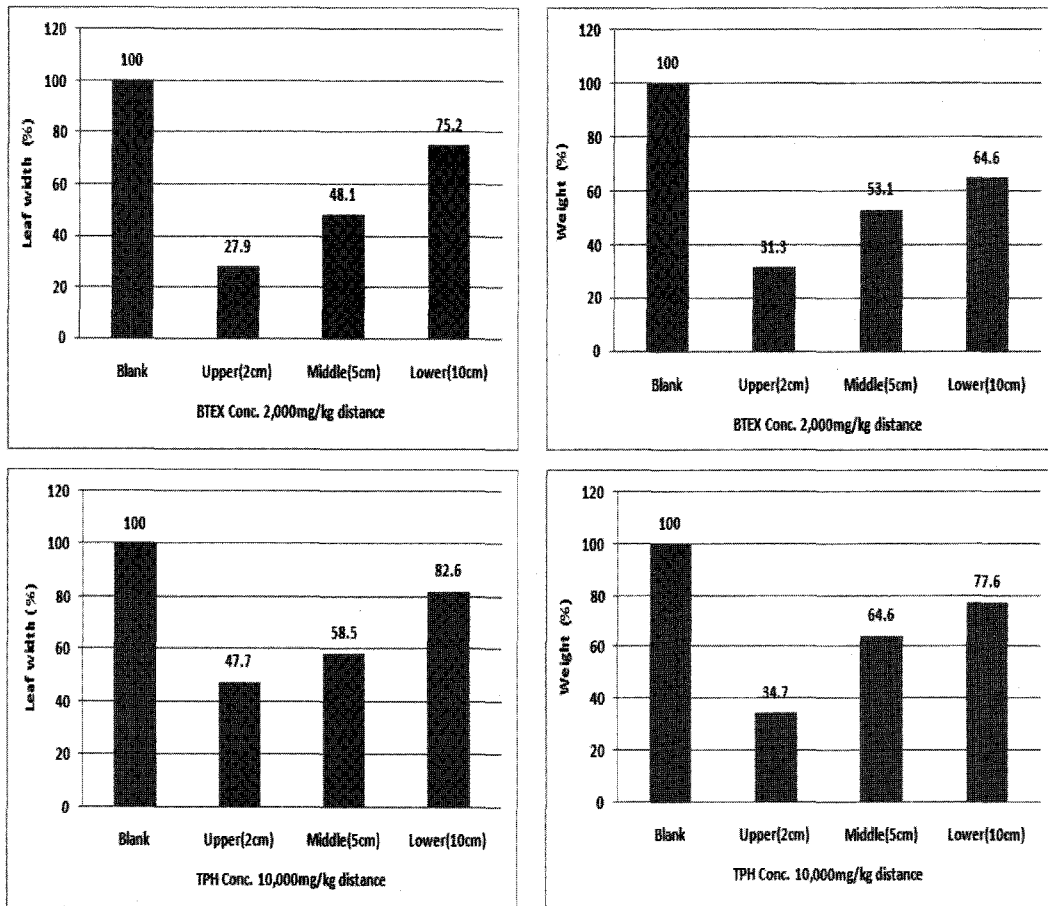


Fig. 3. Growth of *Lactuca sativa* in contaminated soil(25days)

다른 발아율 및 성장을 관찰하였다. 피종한 씨앗의 개수는 20개, 이중 발아된 것과 지속적으로 성장한 것을 결과에 나타내었다. 상추씨앗의 피종 후 20일의 발아상황을

보면 휘발유(BTEX) 20mg/kg에서는 60%, 180 mg/kg에서는 10%의 발아율을 보였고, 340 mg/kg 이상에서는 발아 자체가 일어나지 않았다. 휘발유(BTEX)의 농도가

20 mg/kg 이상만 되어도 식물의 발아에 매우 크게 작용한 것을 확인할 수 있었다. BTEX 340 mg/kg 이상에서는 휘발유의 독성으로 인하여 발아 자체가 일어나지 않은 것으로 판단된다. 경유(TPH)에서는 500 mg/kg, 2,000 mg/kg에서는 영향이 미미하게 나타났다고 판단되었고, 6,000 mg/kg 이상부터 영향을 보이기 시작하여 10,000 mg/kg에서는 발아율이 50% 이하로 나타났다. 경유(TPH)의 영향이 크게 작용하기 시작하는 시점은 2,000 mg/kg부터라고 판단된다. 상추씨앗의 발아 및 성장에 낮은 농도의 휘발유가 높은 농도의 경유보다 더 크게 작용하였다고 판단된다. 휘발유의 독성이 상대적으로 경유보다 높게 작용한 것으로 판단된다.

씨앗의 성장률 측정은 각각의 화분에서 발아되어 성장하고 있는 상추 중 가장 큰 3개 크기를 측정하여 나타낸 것이다. 상추씨앗의 25일 후 성장을 살펴보면 휘발유의 경우 20 mg/kg과 180 mg/kg의 잎 넓이의 차이가 0.72 cm, 무게의 차이는 2배 이상의 차이를 보여 오염농도가 성장에 미치는 영향이 확인되었다. 대조군과 비교하여 잎 넓이와 무게 모두 70% 이하로 타났다. 경유 오염토양에서는 500 mg/kg에서는 대조군과 비교할 때 80% 이상의 성장률을 나타내었고, TPH 2,000 mg/kg까지는 차이가 미미하였으나 6,000 mg/kg 이상부터 차이가 크게 나타났다.

3.3. 이격거리에 따른 발아 및 생육실험(깊이별)

유류오염토양과의 거리에 따라 식물의 발아와 성장을 확인하였다. 휘발유(BTEX) 2,000 mg/kg 오염토양과 경유(TPH) 10,000 mg/kg 오염토양을 씨앗과의 하부방향 깊이의 이격거리를 2 cm(상부), 5 cm(중부), 10 cm(하부)간격으로 하여 실험을 하였다. 씨앗 파종 후 20일의 발아율과 생육상태를 보면 휘발유 오염토양은 2 cm, 5 cm 모두 50% 이하의 발아율을 보여주었고, 10 cm에서는 85%의 발아율을 보여주었다. 식물의 뿌리와 휘발유 오염토양의 거리가 약 5 cm 정도 내에서는 휘발유의 독성이 식물에 직접적으로 작용하여 나타낸 결과라 판단된다. 경유 오염토양은 휘발유보다는 높은 발아율을 보였다. 이격거리 3단계 모두 50% 이상의 발아율을 보였는데 경유와 휘발유 모두 이격거리에 따른 식물의 발아에 영향 정도를 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 실험은 농경지에 유류오염사고가 발생하였을 때 유류오염토양으로 인한 식물식생에 미치는 직간접적인 영향

에 대하여 알아보고자 실시하였다.

씨앗의 발아실험은 식물의 씨앗을 유류에 담근 후(1시간) 발아실험을 한 결과 유류의 유막 형성으로 인한 씨앗의 발아 억제 현상을 확인할 수 있었다. 씨앗의 종류에 따라서 정도의 차이는 있지만 휘발유와 경유 모두 발아 억제작용을 하였고, 배추의 경우 휘발유의 작용이 더 크게 나타났다. 유류의 종류 및 농도에 따른 상추의 발아 및 성장실험 결과 식물 성장은 휘발유 20 mg/kg, 경유 2,000 mg/kg 이상에서 식생에 저해요인으로 작용한다고 판단되었다. 유류 성분이 상부방향으로 휘발 및 확산 작용을 하여 발아 및 성장에 억제작용을 한다고 판단되었다.

본 실험 결과 유류(휘발유, 경유)에 의한 식물의 식생에 직간접적으로 영향을 준다는 것을 확인할 수 있었으며, 휘발유는 20 mg/kg 이상, 경유는 2,000 mg/kg 이상에서 영향을 주기 시작한다고 판단되었다. 본 실험 외 식물 및 실제 농업지역에서의 추가실험을 진행하여 그 이하(휘발유(BTEX) 20 mg/kg, 경유(TPH) 2,000 mg/kg)의 유류오염 정화토양에 대하여 녹화공사의 성토제, 매립지 복토제 등으로 활용 가능성을 모색할 계획이다.

참 고 문 헌

- 김복영, 김재정, 신제성, 엄기태, 이규승, 이영환, 정영상, 허중수, 1989, 농업환경화학, 동화기술, 59-160.
- 심남식, 2006, 농사용 난방유류에 의한 환경오염 개선방안, 월간 자치발전, 136.
- 이종식, 김진호, 김복영, 2006, 유류(경유)오염에 의한 농작물 피해도 구명, 농작물 환경오염 피해해석 및 기준설정 연구, 농업과 학연구원.
- 조원실, 조경숙, 2008, 산림 토착 미생물 군집에 미치는 유류 첨가제 노출 농도 및 시간의 영향, 한국환경보전학회지, 34(5), 387-394.
- 홍선화, 조경숙, 2007, 오염토양의 식물상 복원효율에 미치는 식물, 근권세균 및 물리·화학적 인자의 영향, *Journal of Microbiol Biotechnology*, 35(4), 261-271.
- 황철원, 장혜원, 최용락, 2007, 기름으로 오염된 토양에서 작물생육을 위한 계면활성제 생산 Bacteria의 활용에 관한 연구, *Journal of Life Science*, 17(7), 944-947.
- Anna, M., Nathalie, P., Jacques, D., and Eric, D., 2007, Relationship between heavy fuel oil phytotoxicity and polycyclic aromatic hydrocarbon contamination in *Salicornia fragilis*, LEBHAM, UPRES EA 3877.
- Baek, K.-H., Kim, H.-S., Oh, H.-M., Yoon, B.-D., Kom, J.S., and Lee, I.-S., 2004, Effects of Crude Oil, Oil Components, and Bioremediation on Plant Growth, *Journal of Environmental Sci-*

ence and Health, **39**(9), 2465-2472.

Byun, S. H., 2008, Assessment of Environment Contaminant Level in Water, Sediment and Adjacent Soils and Spider from Several Stream Site in Korea, *Korea Journal of Environmental Science* Gillian Adam, Harry Duncan, 2002, Influence of diesel fuel on seed germination, *Environment Pollution*, **120**, 363-370

Euliss, K., Chihua, H., Schwab, A.P., Rock, S., and Katherine, B.M., 2008, Greenhouse and field assessment of phytoremedia-

tion for petroleum contaminants in a riparian zone, *Bioresource Technology*, **99**, 1961-1971.

Gerhardt, Karen. E., Huang, X-d., Glick, B.R., and Greenberg, B.M., 2009, *Plant Science*, **176**, 20-30.

Huang, X-D., Yousef, El-A., Gurskaa, J., Glick, B.R., and Greenburg, B.M., 2005, A multi-process phytoremediation system for decontamination of persistent total petroleum hydrocarbons (TPHs) from soils, *Microchemiscl Journal*, **81**, 139-147.