

## 고엽제 노출에 따른 건강위해의 보건학적 고찰

양원호<sup>†</sup> · 홍가연 · 김근배\*

대구가톨릭대학교 산업보건학과, \*국립환경과학원 환경보건연구과

### Review of Public Health Aspects of Exposure to Agent Orange

Wonho Yang<sup>†</sup>, Gayeon Hong, and Geun-Bae Kim

Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu, Kyongbuk, Korea

\*Environmental Health Division, National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea

#### ABSTRACT

**Objectives:** Controversy regarding the relationship between exposure to Agent Orange and disease has progressed for more than four decades, both at home and abroad. Recently, the allegation by US veteran Steve House of the burial of Agent Orange at the US Army base Camp Carroll located in Waegwan-eup, Korea, has emerged. We reviewed published articles and reports related to Agent Orange.

**Methods:** Articles and reports were collected online using the keywords 'agent orange' and 'health' and then reviewed.

**Results:** A number of epidemiologic studies have reported disease outcomes due to exposure to Agent Orange, while others were unable to establish a link to the injuries of veterans of the Vietnam War. This can be explained by the fact that accurate exposure assessment should be carried out since exposure misclassification in epidemiologic studies can affect estimates of risk. In the case of the burial of Agent Orange at Camp Carroll, an exposure pathway could be through underground water supplies, which differs from the cases of Vietnam and Seveso in Italy.

**Conclusion:** There still remains a dispute among academics regarding the relationship between exposure to Agent Orange and disease, although Agent Orange is a highly toxic chemical. This dispute indicates that accurate exposure pathway and exposure assessment is needed.

**Keywords:** agent orange, health effects, epidemiology

#### I. 서 론

2011년 5월 경북 칠곡군 왜관읍에 위치한 미군기지 캠프 캐럴(Camp Carroll)에서 고엽제(defoliant) 매립 의혹을 처음 제기한 주한 미군 전역자인 스티브 하우스의 증언에 따라 미군기지의 환경오염 논란이 야기되었다. 이에 한미 양국은 공동조사단을 구성해 캠프 캐럴 내·외부의 지하수와 토양 조사를

수행하는 등 고엽제 존재 자체와 고엽제 노출에 따른 지역주민의 건강영향 문제가 초미의 관심사인 상태이며, 현재 지역주민의 생체시료 및 건강검진을 이용한 역학조사가 2012년 6월 현재 진행 중이다.

1993년 제정된 '고엽제 후유증환자 지원 등에 관한 법률'에서는 고엽제를 '월남전에서 나뭇잎 등을 제거하기 위하여 사용된 제초제로서 다이옥신이 함유된 것'이라고 정의하고 있다. 고엽제는 베트남 전

<sup>†</sup>Corresponding author: Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu, Daegu 712-702, Korea, Tel: +82-53-850-3739, Fax: +82-53-850-3739, E-mail: whyang@cu.ac.kr

Received: 10 April 2012, Revised: 7 June 2012, Accepted: 13 June 2012

쟁 당시 밀립 고사 작전의 일환으로 베트남 정글에 뿌려진 제초제의 일종이며, 2,4-dichlorophenoxyacetic acid(2,4-D), 2,4,5-trichlorophenoxyacetic acid(2,4,5-T), picloram, cacodylic acid가 주성분을 이루고 있다.<sup>1)</sup> 고엽제 중 agent orange는 n-butyl ester에 2,4-D와 2,4,5-T를 50:50 비율로 섞어 제조되었고, 주로 경유에 혼합하여 액체 상태로 살포되었다. 고엽제 중 대부분을 점한 것이 agent orange이며, 55 갤런(gallon) 드럼통에 오렌지색의 페인트를 칠했기 때문에 agent orange로 명명되었다.

미군은 베트남 전쟁 시 1962년부터 1972년까지 9년 동안 'operation ranch hand'라는 작전명으로 많은 양의 제초제를 전투지역에 살포하였다. 이 당시 전쟁에서 화학약품을 살포하는 것은 불법이었음에도 불구하고 더 문제가 되었던 것은 살포된 agent orange에 다이옥신(dioxin)이 함유되었기 때문이다. 다이옥신은 2,4-D와 2,4,5-T를 혼합하는 과정에서 형성된 불순물이었다. 이 불순물은 다이옥신 가운데서도 가장 독성이 강한 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-*p*-dioxin (TCDD)이었다. TCDD는 agent orange에 평균 3 ppm이 존재하는 것으로 보고되고 있다.<sup>2)</sup> TCDD는 치사독성 뿐만 아니라 발암성이나 최기형성과 같은 만성독성에 있어서도 치명적이기 때문에, 1 ppt에서도 인체와 환경에 심각한 오염을 일으킬 수 있는 독극물이다.<sup>3)</sup> 또한 TCDD는 환경에서 분해 및 용해도가 낮기 때문에 잔류성이 높으며, 인체에 극히 적은 양이 흡수되어도 점차 몸속에 축적돼 질병을 일으킨다.<sup>4,5)</sup> TCDD의 인체 내 반감기는 대략 7~9년으로 알려져 있다.<sup>6)</sup>

미국의 레이건 대통령은 다이옥신을 포함한 고엽제 노출에 따른 건강위해를 조사하기 위해 Agent Orange Working Group(AOWG)를 구성하였고, AOWG는 주정부 및 호주와 뉴질랜드에 국제적 위원회를 구성하여 다양한 연구를 수행하였다. 그러나 이런 연구는 베트남 전역자 사이에서 연조직 육종(soft tissue sarcomas), 호지킨 림프종(hodgkin's disease), 비호지킨 림프종(non-hodgkin's disease), 고환암(testicular cancer) 등과의 유의한 원인적 연관성을 증명하지 못했다.<sup>7)</sup> 또한 agent orange 살포와 관련이 있는 104,000명을 대상으로 조사한 연구에서도 베트남전에 참전하지 않은 사람과 비교했을 때 암발생률에 유의한 차이가 관찰되지 않았다.<sup>8)</sup>

고엽제의 노출은 각종 암은 물론 전신마비, 졸도,

심장마비, 기형아, 정신착란, 무력증과 같은 합병증을 유발할 수 있다. 그러나 고엽제와 질병의 원인적 연관성을 명확하게 밝혀져 있지 않은 상태로, 지난 40년 동안 고엽제 중 특히 agent orange 노출에 따른 건강영향의 논란이 존재하였다.<sup>9-11)</sup>

본 연구는 전직 주한 미군의 폭로로 경북 칠곡군 왜관읍 미군기지에 대량의 고엽제 중 특히 agent orange의 매립과 지역주민 건강영향 등 논란의 시사성을 고려하여 agent orange 노출에 따른 건강영향의 보건학적 고찰을 수행하였다.

## II. 연구방법

고엽제 노출에 따른 건강영향에 대해 기존에 보고된 국내·외 논문 및 보고서를 고찰하였다. 국내논문은 KISS(한국학술정보), 과학기술학회마을, DBPIA에서 주요어로 '고엽제' 및 '건강영향'을 입력하여 검색하였으며, 국외논문은 Science Direct, EBSCO Host, PubMed, Google 학술검색을 이용하였다. Key Words로 'agent orange' 및 'health'를 입력하였다. 문헌조사에서 특히 고엽제를 언급할 때 고엽제가 다이옥신 또는 TCDD와 동일 용어가 아니라는 것을 고려하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 고엽제의 사용

#### 1) 베트남전 사용

1962년에서 1971년까지 미군은 베트남전에서 군사목적(tactical herbicide)으로 고엽제를 사용하였다. 고엽제 중 agent orange는 1965년 1월부터 1970년 4월까지 주로 비행기(UC-123)를 이용하여 월남 전체면적의 약 24%의 면적에 해당하는 남부지역에 살포되었다. 고엽제는 드럼통의 색깔에 따라 orange, white, blue 등으로 명명되었으며, 총 74,175,920 L가 살포되었다.<sup>12)</sup> 이 중 agent orange는 43,332,640 L로 고엽제 중 대략 58.4%이었다(Table 1). 고엽제는 인체영향의 문제 제기 등으로 1970년 전면 살포 금지 명령과 1972년 4월 모든 고엽제를 폐기토록 하였다. 이후 미군은 고엽제를 고온 열분해 소각 시설을 장치한 선박을 이용하여 주로 공해상에서 소각처리 또는 Johnston Island와 중앙 태평양에 저장하였다.<sup>13)</sup>

**Table 1.** Estimated quantities of tactical herbicides used in Vietnam, 1962-1972<sup>12)</sup>

Tactical herbicide	Components	Number of drums	Number of liters	Years of use
Green	2,4,5-T	365	75,920	1962
Pink	2,4,5-T	1,315	273,520	1961-63
Purple	2,4-D, 2,4,5-T	12,475	2,594,800	1962-65
Blue	Cacodylic acid	29,330	6,100,640	1966-72
White	2,4-D, Picloram	104,800	21,798,400	1966-72
Orange	2,4-D, 2,4,5-T	208,330	43,332,640	1965-70
Total		356,615	74,175,920	

한편, 우리나라는 미국의 파병요청으로 1964년 8월 베트남에 참전한 후, 1973년 4월 철수할 때까지 연인원 32만 명이 파병되었다. 한국군의 고엽제 살포작전 중 미공군수송기(UC-123)에 의해 살포된 것은 미군의 경우와 같이 'operation ranch hand' 작전의 일환으로 뿌려진 것이며, 한국군이 직접 살포한 것은 헬기와 인력에 의한 것이었다. 한국군이 계획하고 작전지역에 살포한 고엽제의 양은 아직까지 정확히 밝혀져 있지 않으며, 대략 추정된 고엽제 살포량은 50만 갤런으로 보고되고 있다.<sup>14)</sup> 이는 베트남 전 지역에 뿌려진 살포량의 약 2.5%에 해당하는 것으로 보고되고 있다.

## 2) 국내 사용

한국 비무장지대(DMZ)의 고엽제 살포는 김신조 사건(1968년 1.21 사태)과 같은 해 11월 울진/삼척 무장공비 사건 등이 직접적인 계기가 되어 비무장지대 일대를 불모지화하기 위해 제조제를 사용하였다. 1968년~1969년 사이에 2만 1000 갤런(315 드럼)의 agent orange, agent blue, 모누론(monuron) 등 고엽제 원액 3종류를 경유와 혼합하여 비무장지대 우리 측 철책 양쪽 1백m, 진술도로, 초소 등 총면적 2천2백 만 평에 살포되었다.<sup>15)</sup> 공식 기록에 따르면 1968년 380드럼의 고엽제가 한국으로 수송되어 한국 육군에 의해 비무장지대(DMZ)에서만 사용되었다.<sup>16)</sup> '고엽제후유증 환자지원 등에 관한 법률'의 총칙(2007.12.21 신설)에서는 '고엽제란 월남전 또는 대한민국 비무장지대 남방한계선의 인접지역으로서 국방부령으로 정하는 지역(남방한계선 인접지역)에서 나뭇잎 등을 제거하기 위하여 사용된 제조제로서 다 이옥신이 들어있는 것을 말한다'로 정의하여 비무장지대 고엽제 살포에 따른 고엽제 노출을 포함하고 있다.

## 2. 고엽제 노출에 따른 건강영향

### 1) 국외

본 연구에서 고엽제와 질병 관련 논문 및 보고서를 50여 편 이상 고찰하였으나, 고엽제 노출에 따른 질병과의 연관성은 미국 국립과학원의 산하 의학원(Institute of Medicine, IOM)의 지난 20년 동안 결과로 판단할 수 있다.<sup>17)</sup> IOM에서는 1991년 agent orange 법령에 의해 2년마다 한 번씩 고엽제의 건강영향을 평가 및 보고하였다. 2010년에 발행된 최신 보고서는 광범위한 논문 및 보고서를 고찰하여 4가지 범주와 질병(① 연관성에 대해 충분한 증거: 5종 질병, ② 연관성에 대해 제한적인 증거: 12종 질병, ③ 연관성에 대해 불충분한 증거: 36종 질병, ④ 연관성이 없음: 1종 질병)을 제시하고 있다(Table 2).

한편 미국 국립과학원 보고서에 따르면 선천성 결손증(birth defects)은 2,4,5-T 및 2,4-D의 환경 중 반감기가 각각 5일 및 2일이기 때문에 제조제에 의한 유독성을 단정 짓는 것은 고엽제 살포 기간과 상관성을 나타내지 않는다고 보고하였다.<sup>18)</sup> Newton과 Young(2004)은 2,4,5-T 등의 유해인자 노출에 따른 건강영향 연구에서 과학적으로 증명되지 못한 결과가 무분별하게 대국민 및 언론 공개되는 문제점을 지적하기도 하였다.<sup>19)</sup> 미국 Florida의 Eglin Air Force Base에서 1961~1971년 동안 베트남의 대기 중 고엽제 살포를 모사하여 실험하였다.<sup>20)</sup> 이 결과에서 베트남의 경우 일반적으로 1.48 kg 2,4,5-T/ha로 살포되었으나, 살포된 대부분은 임관(forest canopy)에 차단되었으며 TCDD의 소멸 및 잔류성은 살포될 때 어떻게 생태계로 진입하느냐에 따라 달라지는 것으로 보고하였다. 또한 베트남의 경우 TCDD는 대부분 광분해 조건으로 99% 정도가 살포한 후 1일 이상 잔류하지 않을 것이라고 하였다.

**Table 2.** Summary of findings of veterans, occupational, and environmental studies regarding associations between exposure to herbicides and specific health outcomes<sup>17)</sup>

Category	Health outcomes
Sufficient evidence of an association	Soft-tissue sarcoma (including heart), Non-Hodgkin's lymphoma*, Chronic lymphocytic leukemia (including hairy cell leukemia and other chronic B-cell leukemia)*, Hodgkin's lymphoma*, Chloracne
Limited or suggestive evidence of an association	Laryngeal cancer, Cancer of the lung, bronchus, or trachea, Prostate cancer, Multiple myeloma*, AL amyloidosis*, Early-onset transient peripheral neuropathy, Parkinson's disease, Porphyria cutanea tarda, Hypertension, Ischemic heart disease, Type 2 diabetes(mellitis), Spina bifida in offspring of exposed people
Inadequate or insufficient evidence to determine an association	Cancers of the oral cavity (including lips and tongue), pharynx (including tonsils), or nasal cavity (including ears and sinuses), Cancers of the pleura, mediastinum and other unspecified sites in the respiratory system and intrathoracic organs, Esophageal cancer, Stomach cancer, Colorectal cancer (including small intestine and anus), Hepatobiliary cancers (liver, gallbladder, and bile ducts), Pancreatic cancer, Bone and joint cancer, Melanoma, Nonmelanoma skin cancer (basal cell and squamous cell), Breast cancer, Cancers of reproductive organs (cervix, uterus, ovary, testes, and penis; excluding prostate), Urinary bladder cancer, Renal cancer (kidney and renal pelvis), Cancers of brain and nervous system (including eye), Endocrine cancers (thyroid, thymus, and other endocrine organs), Leukemia (other than all chronic B-cell leukemias, including chronic lymphocytic leukemia and hairy cell leukemia), Cancers at other and unspecified sites, Infertility, Spontaneous abortion (other than after paternal exposure to TCDD, which appears not to be associated), Neonatal or infant death and stillbirth in offspring of exposed people, Low birth weight in offspring of exposed people, Birth defects (other than spina bifida) in offspring of exposed people, Childhood cancer (including acute myeloid leukemia) in offspring of exposed people, Neurobehavioral disorders (cognitive and neuropsychiatric), Neurodegenerative diseases, excluding Parkinson disease, Chronic peripheral nervous system disorders, Hearing loss, Respiratory disorders (wheeze or asthma, chronic obstructive pulmonary disease, and farmer's lung), Gastrointestinal, metabolic, and digestive disorders (changes in hepatic enzymes, lipid abnormalities, and ulcers), Immune system disorders (immune suppression, allergy, and autoimmunity), Circulatory disorders (other than hypertension and ischemic heart disease), Endometriosis, Effects on thyroid homeostasis, Eye problems, Bone conditions
Limited or suggestive evidence of no association	Spontaneous abortion after paternal exposures to TCDD

\*The consistency of the finding with the biologic understanding of the clonal derivation of lymphohematopoietic cancers that is the basis of the World Health Organization classification system.

Young(2011)은 베트남전 참전 군인들의 노출지표 연구인 혈청 다이옥신 연구들에서 TCDD의 살포 시 광분해, 환경거동, 저 생물학적 이용 가능성은 지상 군인들의 고엽제 노출이 거의 없었으며, 고엽제 노출과 그에 따른 15종의 질병에 통계학적 연관성은 충분히 있지만 원인적 연관성은 나타내지 않았다고 하였다.<sup>12,21)</sup> 또한 그의 논문에서는 미국 정부에서 참전 군인들에게 고엽제 노출에 따른 보상을 하는 것은 과학적 증거에 의한 것이 아니라 국가를 위해 위험을 무릅쓰고 전쟁에 참여한 국민에게 보상을 하는 개념이라고 주장하였다.

## 2) 국내

우리나라 참전 군인을 대상으로 한 연구에서는 대표적으로 국군 의무사령부의 연구(1993), 1차 고엽제 피해 역학조사(1996), 2차 고엽제 피해 역학조사(2001), 3차 고엽제 피해 역학조사(2006)가 있다.<sup>22-24)</sup> 2006년 3차 고엽제 피해 역학조사 결과에 따르면 베트남 참전 군인과 남자 인구전체의 사망분석 결과 참전 군인들의 사망률은 남자 인구전체보다 통계적으로 낮게 나타났다. 이것은 참전 군인이 건강한 20대이기 때문이라고 보고하였다(healthy worker effect 또는 healthy veteran effect). 사망분석만 고려

할 경우 갑상샘암, 만성골수백혈병, 협심증, 알코올성간질환 사망이 고엽제 노출과 사망과의 관련성을 의심할 수 있는 결과를 보였다. 베트남 참전 군인과 남자 인구전체의 암 발생 분석결과 참전 군인들의 암발생률은 남자 인구전체보다 통계적으로 낮았으나, 소장암과 침샘암이 고엽제 노출과 암 발생과의 관련성을 의심할 수 있다는 결과를 보였다. 2010년 고엽제 2세 역학조사에서는 아버지 참전 군인의 고엽제 노출과 2세의 사망분석과 암 발생 분석에서 비교적 일관되게 고엽제 노출과 통계적 관련성이 나타난 질병은 보이지 않았다. 하지만 2세의 연령의 증가 등을 고려할 경우 고엽제 노출과 유의한 관련성을 지닌 질병이 나타날 수 있음을 보고하였다.<sup>25)</sup>

한국의 국가보훈처에서는 고엽제 후유증으로 16종(비호지킨 림프선암, 연조직 육종암, 염소성 여드름, 말초 신경병, 만발성 피부 포르피린증, 호지킨병, 폐암, 후두암, 기관암, 다발성, 골수종, 전립선암, 버거병, 당뇨병(선천성 제외), 만성 림프성 백혈병, 만성 골수성 백혈병), 고엽제 후유증 20종(일광과민성 피부염, 심상성 건선, 지루성 피부염, 만성 담마진, 건성습진, 중추 신경장애, 뇌경색증, 다발성 신경마비, 다발성 경화증, 근위축성 신경축색 경화증, 근질환, 악성종양, 간질환, 갑상선 기능 저하증, 고혈압, 뇌출혈, 허혈성 심혈질환, 동맥 경화증, 무혈성 괴사증, 고지혈증)을 고엽제 노출에 따른 건강영향으로 제시하고 있다.<sup>26)</sup>

한국 파월 장병들에 대한 고엽제의 노출량은 다를 수 있으며, 또한 미군과 비교하여 생리적 반응이 다를 수 있다. 그렇지만 국내에서 보고된 고엽제 관련 건강영향은 미국의 경우와 비슷하게 노출에 따른 건강영향 관련성의 여부가 혼재하였다. Yun *et al.*(1998)은 고엽제 후유증으로 인한 말초신경병증을 가진 환자에서 척추마취 중 예상치 못했던 심한 서맥과 저혈압의 발생을 나타내었다.<sup>27)</sup> Chun *et al.*(1999)은 베트남전 참전자들이 평소 불안 및 통증의 해소를 목적으로 약물을 사용하며, 고엽제에 대한 후유(의)증에 대한 인식도는 참여자의 79.2%가 위해를 지닌다고 하였다. 또한 자녀에게까지 영향을 미치는 것으로 인식하였다.<sup>28)</sup> 이렇듯 고엽제후유(의)증에는 포함이 되지 않지만 고엽제 노출로 인한 우리나라 참전 군인들의 심리에 관한 연구들도 볼 수 있다.

Kim *et al.*(2001)은 베트남 참전 제대 군인에서 비

베트남 제대 군인에 비하여 유의하게 혈청 내 다이옥신의 평균 농도가 높았고, 베트남 참전 제대 군인들 중에서도 높은 수준의 노출정도로 갈수록 유의하게 다이옥신의 평균 농도가 높은 양-반응 관계를 보였으며, 노출 범주화와 다이옥신 농도와 상관관계도 유의한 양의 상관관계를 보였다.<sup>29)</sup> 그러나 Mo *et al.*(2002)에서는 고엽제 관련 전신질환의 유병률은 일반 대조군에 비해 높은 유병률을 보이지 않았다. 고엽제 관련 피부 질환 경우의 유병률은 건성 습진(3.9%), 지루 피부염(3.9%), 심상성 건선(0.9%), 광과민성 피부염(0.6%), 만성 담마진(0.3%)이었고 염소성 여드름과 피부암은 관찰되지 않았다.<sup>30)</sup>

Kim *et al.*(2003)은 베트남전 전역자 1,224명과 참전하지 않은 154명의 단면연구에서 베트남전 전역자가 습진, 신경근질환, 비만, 말초신경증, 고혈압이 높았으며, 고노출된 베트남전 전역자의 증가된 국소 빈혈성 심장질환( $p < 0.01$ ), 심장관막증( $p < 0.01$ ), 망막증( $p < 0.01$ )을 나타내었다.<sup>31)</sup> 그리고 Lee *et al.*(2003)은 고엽제 노출과 국소적으로 발생한 우체양 표피 이행성의 관련 가능성을 제시하였다.<sup>32)</sup> Kang *et al.*(2007)은 고엽제에 노출된 환자에서 광상동맥 질환의 원인 인자로 알려진 당뇨병과 고지혈증이 유의하게 높음을 보고하였다.<sup>33)</sup> 심리에 관한 연구인 Chang *et al.*(2009)은 베트남 참전집단은 한국 전쟁 참전집단에 비해 인지적 경직성과 경험에 대한 폐쇄적 접근, 문제해결에 있어서의 비효율성, 정서억압 및 과잉경계, 우울 등의 가능성이 더 높은 것으로 보고하였다.<sup>34)</sup> Kang *et al.*(2011)은 고엽제와 Merkel 세포암 발생의 인과관계는 밝히기 어려우나, Dioxin의 발암성과 면역 억제 작용이 Merkel 세포암의 초기 발병에 영향을 주었을 가능성을 배제할 수 없고, 초발 병변이 발생한 이후 비교적 짧은 기간(1개월) 내에 전이되어 다발 병변이 된 것은 초기 발생뿐만 아니라 전이에도 고엽제가 연관되어 있을 가능성을 제기해 주는 점이라고 하였다.<sup>35)</sup>

이상의 연구들은 이미 질병이 발생한 환자들을 대상으로 한 연구로서 베트남전 참전 군인 전체를 대표하지 못하는 문제점이 있는 것으로 지적되었다. 그러나 이러한 제한점은 당시 우리나라에서 고엽제와 참전 군인을 대상으로 연구 가능한 자료원이 매우 한정되어 있기 때문에 나타났다고 말할 수 있다.<sup>36)</sup> 그리고 전방에서 살포된 고엽제의 경우, 살포된 양은

베트남전에 비해 적었으며 봄, 여름에만 집중적으로 뿌려 베트남전보다는 건강영향 환자가 적었을 것으로 예상된다. 하지만 한국군 장병들은 단순히 제조제를 뿌리는 정도로만 알고 아무런 사전 교육 없이 고엽제가 살포되었다는 점에서 비무장지대 군인과 지역주민들의 피해가 발생했을 것으로 추정될 뿐이다.<sup>15)</sup>

### 3. 고엽제 노출평가

고엽제 특히 agent orange(2,4-D, 2,4,5-T, 다이옥신의 TCDD)의 동물시험 등에서 유해성은 명확함에도 건강영향(질병)의 원인적 연관성은 아직도 논란이 많은 이유는 결국 정확한 노출평가의 중요성을 제시하는 것이다. 그런 중요성에도 불구하고 고엽제의 노출이 과거 노출(past exposure)이라는 것, 노출과 비노출의 분류 오류 가능성, 그리고 agent orange의 성분 중 2,4,5-T는 1984년부터 한국에서 사용이 금지되었으나 2,4-D는 낮은 독성으로 인해 현재까지 계속 사용되는 것 등이 고엽제 노출과 건강영향 문제의 관련성을 평가하는데 어려움 중의 하나로 작용하고 있다.<sup>25,37,38)</sup>

노출평가는 첫째 베트남전 참전을 고엽제에 노출된 것으로 간주, 둘째 군사기록을 통하여 고엽제 사용실태 등의 객관적 자료 수집, 셋째 각 개인별 노출 경험을 통한 노출지표 산정, 넷째 TCDD를 포함한 다이옥신 동류물의 체내 농도 측정 등의 네 가지 방법을 이용할 수 있으나, 어느 것도 확실한 방법이 되지는 못한다.<sup>38)</sup>

Young *et al.*(2004)에서도 군사기록을 이용하여 고엽제의 노출을 평가하는 것은 정확도 등에 문제가 있으므로 주의를 기울여야 한다고 하였다.<sup>39)</sup> 고엽제 성분 중 다이옥신은 일반 환경에서 수 ppt 이하의 낮은 농도로 존재하지만 매우 안정한 화합물로 인체 내에서의 2,3,7,8-TCDD의 경우 반감기가 7~9년으로 매우 긴 것으로 보고되고 있다.<sup>40,41)</sup> Fingerhut *et al.*(1991)은 근로자를 대상으로 노출기관과 혈청 내 TCDD 농도와 유의한 상관성( $r = 0.72$ ,  $p < 0.0001$ )을 나타내어 노출기간의 이용 가능성을 나타내었다.<sup>42)</sup>

고엽제의 노출지표는 생체(혈청) 내 다이옥신(TCDD) 농도가 표준(gold standard)이지만 혈액채취, 비용, 시간경과에 따른 노출평가의 어려움 등이 있다. 하지만 다이옥신의 혈액 내 반감기를 고려할 경우 노출이 끝난 지 오랜 시간이 지난 후에도 인체 내 다이

옥신의 농도를 측정하여 과거 노출을 평가하는데 유용하게 사용할 수 있다.<sup>43,44)</sup> 반면 고엽제에 노출된 참전 군인들의 인체 TCDD 수준은 이미 여러 번의 반감기를 거쳤기 때문에 현재 일반인과는 큰 차이가 없으므로 혈청 내 TCDD의 노출지표 이용 가능성에 대한 한계점이 지적되기도 한다.<sup>45)</sup>

Kim *et al.*(2001)은 노출지수에 대해 제조제 살포량을 고려한 참전기간에 따른 연도별 작전지역별 살포량인 총 살포량과 개인별 주관적 노출점수의 두 가지를 통해 노출 정도별로 점수화한 다음 이를 분류하여 범주화된 자료를 활용하였다.<sup>29)</sup> Stellman *et al.*(2003)은 베트남에서 고엽제 노출을 평가하기 위해서 고엽제 살포자료, ranch hand target, 제조제 저장, 이동 및 폐기, 토양지형, 미군기지 위치, 노출건수, 군사기록, 거리 요인, 시간 요인 등과 지리정보체계(geographic information system, GIS)를 이용하여 연속노출모델(continuous exposure model), 노출기회모델을 적용하였다.<sup>46)</sup>

그 동안 고엽제와 질병의 원인적 연관성을 위한 역학연구에서 올바른 노출을 평가하기 위해 다양한 방법론이 적용되었지만 한계점이 존재하는 실정이다. 특히 Young<sup>12,13,21,39,44)</sup>은 베트남전에서 참전 군인들의 노출이 없었거나 매우 적었기 때문에 역학연구에서 유의한 원인적 연관성이 나타나지 않았다고 주장하고 있지만, 이것은 건강한 근로자(군인) 효과와 과거 노출에 대한 노출 오분류로 판단할 수 있다.<sup>47)</sup>

### 4. 철곡군 왜관읍 고엽제

철곡군 왜관읍 미군기지인 캠프 캐럴의 고엽제 매립 의혹 결과는 다음과 같다.<sup>16)</sup> 매립 의혹지역에 대한 지구물리탐사 및 토양 시추조사 결과 드럼통 매립 징후는 발견하지 못하였다. 또한 과거 캠프 캐럴 근로자 172명에 대한 인터뷰 및 32개 기관에 대한 기록조사 과정에서 매립된 것은 고엽제가 아닌 살충제, 제조제, 유기용제, 기타 화학물질 등이 굴착되어 미 분토로 수송되었다는 증언이 확보되었다. 그리고 토양과 지하수에 대한 고엽제 관련 성분 분석 결과 기지 내부 41구역 지하수관 측정 1개소에서 2,4,5-T가 극미량 검출되었다. 기지 내 D구역 2개 지점에서 2,3,7,8-TCDD가 미량 검출되었으나 고엽제와는 관련성을 단정할 수 없었다.

하지만 스티브 하우스씨의 고엽제 매립 주장, 기

지 내 토양을 파내지 못한 점, 기타 다른 화학물질 (trichloroethylene(TCE), perchloroethylene(PCE) 등) 의 고농도 검출 등 지역주민의 의혹이 아직도 높은 상황이다. 칠곡군 왜관읍의 고엽제 노출 여부는 기존 노출양상 즉 베트남전의 공중살포 및 이탈리아 Seveso에서 농약제조 회사의 폭발사건에 의한 TCDD 의 대기 이동과 다른 형태라고 할 수 있다.<sup>47,48)</sup> 베트남 전쟁, 이탈리아 Seveso 사건 및 한국 DMZ의 고엽제 살포는 주로 공기를 통한 호흡기 노출이라고 할 수 있다. 반면 TCDD를 포함한 고엽제는 불용성으로 주로 토양에 장기간 흡착된 상태로 존재하지만 다른 유기물이 존재하는 수계에서는 탈착되어 이동할 수 있는 것으로 보고되고 있다.<sup>49)</sup> 따라서 칠곡군 왜관읍 캠프 캐럴의 경우 드럼통 매립에 따른 누출이 토양과 지하수의 노출경로를 따라 음용에 따른 소화기 노출이 존재할 가능성이 있다.<sup>50)</sup>

#### IV. 결 론

경북 칠곡군 왜관읍의 미군기지 '캠프 캐럴'의 고엽제 매립 의혹을 처음 제기한 미국 병사 스티브 하우스의 증언에 따라 한국 내 미군기지의 환경오염 논란이 야기되었다. 고엽제 노출에 따른 건강영향 문헌 고찰에서는 고엽제의 유해성은 충분히 인지되고 있지만, 사람의 노출 존재여부에 따라 암 등의 건강영향 결과는 아직도 논란이 많은 것으로 나타나고 있었다. 이것은 월남전 참전 군인의 healthy veteran effect 및 노출 오분류 때문이며, 또한 고엽제가 사람에게 실제 노출이 있어야만 건강영향이 있는 것으로 해석할 수 있다. 고엽제 노출에 따른 건강영향 논쟁은 노출이 과거에 있었으며, 노출군과 비노출군의 분류가 용이하지 않다는 것 등이 이후에도 결코 완벽한 결론에 도달할 수 없을지도 모른다. 하지만 우리보다 많은 연구가 수행된 미국에서도 계속 장기 계획 하에 고엽제 연구가 수행되고 있음을 고려할 때, 인체의 생리적 특성 및 사회의 문화적 특성이 다른 우리나라에서도 고엽제 노출에 따른 질병발생을 지속적으로 조사할 필요가 있다.

#### 참고문헌

1. Gough M. Dioxin, agent orange - the facts. New

- York: Plenum Press; 1986.
2. Schecter A, Dai LC, Thuy LTB, Quynh HT, Minh DQ, Cau HD, et al. agent orange and the Vietnamese: the persistence of elevated dioxin levels in human tissues. *Am J Public Health*. 1995; 85(4): 516-22.
3. Helder T. Effects of 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin(TCDD) on early life stages of the pike. *The Science of the Total Environment*. 1980; 14: 255-264.
4. Steenland K, Deddens J, Piacitelli L. Risk assessment for 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin(TCDD) based on an epidemiologic study. *Am J Epidemiol*. 2001; 154(5): 451-458.
5. Tuyet-Hanh TT, Vu-Anh L, Ngoc-Bich N, Tenkate T. Environmental health risk assessment of dioxin exposure through foods in a dioxin hot spot - Bien Hoa city, Vietnam. *Int J Environ Res Public Health*. 2010; 7: 2395-2406.
6. Yang YH, Kim BH, Chang YS. Analysis of PCDD/Fs and PCBs in human blood and characteristics of contaminated sources. *Analytical Science & Technology*. 2001; 14(2): 147-158.
7. Zahm SH. Epidemiologic research on Vietnam veterans difficulties and lessons learned. *Annals of Epidemiol*. 1995; 5(5): 414-416.
8. Thomas TL, Kang HK. Health status of a self-selected group of 104,000 Vietnam veterans. 22nd Annual Meeting of the Society for Epidemiologic Research; 1989.
9. Buffler PA, Ginevan ME, Mandel JS, Watkins DK. The air force health study : an epidemiologic retrospective. *AEP*. 2011; 21(9): 673-687.
10. Schecter A, Dai LC, Papke O, Prange J, Constable JD, Matsuda M, et al. Recent dioxin contamination from agent orange in residence of a southern Vietnam city. *J Occup Environ Med*. 2001; 43(5): 435-43.
11. Ngo AD, Taylor R, Roberts CL, Nquyen TV. Association between agent orange and birth defects: systematic review and meta-analysis. *Int J Epidemiol*. 2006; 35(5): 1220-1230.
12. Young AL, Cecil PF. Agent orange exposure and attributed health effects in Vietnam veterans. *Military Medicine*. 2011; 176: 29-34.
13. Young AL. The history, use, disposition and environmental fate of agent orange. Springer; 2009.
14. Ministry of Patriots & Veterans Affairs. Epidemiologic study for health effects by exposure to herbicide (agent orange); 2006.
15. Lim JH. Management and health effects of veter-

- ans exposed to agent orange. *Environmental Forum of National Assembly in Korea*. 2000; 282-297.
16. The final announcement of ROK-US joint investigation result on the alleged burial of agent orange at Camp Carroll. The ROK-US Joint Investigation Team; 2011.
  17. Institute of Medicine of the National Academies. Veterans and agent orange; 2010.
  18. National Academy of Sciences. The effects of herbicides in South Vietnam; 1974.
  19. Newton M, Young AL. The study of 2,4,5-T: A case study of science and societal concerns. *Environ Sci & Pollt Res*. 2004; 11(4): 207-208.
  20. Young AL, Newton M. Long overlooked historical information on agent orange and TCEE following massive applications of 2,4,5-T-containing herbicides, Eglin Air Force Base, Florida. *Environ Sci & Pollt Res*. 2004; 11(4): 209-221.
  21. Young AL, Giesy JP, Jones PD, Newton M. Environmental fate and bioavailability of agent orange and its associated dioxin during the Vietnam war. *Environ Sci & Pollut Res*. 2004; 11(6): 359-370.
  22. Ministry of Health & Welfare. Epidemiology study of veteran exposed to agent orange; 1996.
  23. Ministry of Patriots & Veterans Affairs. Epidemiology study of veteran exposed to agent orange; 2001.
  24. Ministry of Patriots & Veterans Affairs. Epidemiology study of veteran exposed to agent orange; 2006.
  25. Ministry of Patriots & Veterans Affairs. Epidemiology study of second generation exposure to agent orange; 2010.
  26. Ministry of Patriots & Veterans Affairs: <http://www.mpva.go.kr/>
  27. Yun CS, Lee JH, Lee JY, Lee KN, Moon JI. Severe bradycardia and hypotension during spinal anesthesia in a patient with agent orange sequela. *The Korean Journal of Anesthesiology*. 1998; 34: 650-654.
  28. Chun JH, Kim SA, Lee JT, Sohn HS. Evaluation for anxiety and depression relating to agent orange exposure on Korean Vietnam veterans. *Inje Med J*. 1999; 20(1): 369-384.
  29. Kim JS, Kang HK, Lim HS, Cheong HK, Lim MK. A study on the correlation between categorization of the individual exposure levels to agent orange and serum dioxin among the Korean Vietnam veterans. *Korean J Prev Med*. 2001; 34(1): 80-88.
  30. Mo HJ, Park HJ, Kim JH, Lee JY, Cho BK. A study about the skin and general disease pattern of the Vietnam veterans exposed to dioxin. *Korean Dermatological Association*. 2002; 40(6): 634-638.
  31. Kim JS, Lim HS, Cho SI, Cheong HK, Lim MK. Impact of agent orange exposure among Korean Vietnam veterans. *Industrial Health*. 2003; 41: 149-157.
  32. Lee S, Chun SH, Bak H, Jeon SY, Ahn SK. A case of epidermodysplasia verruciformis related with agent orange. *Korean J Dermatol*. 2003; 41(9): 1268-1270.
  33. Kang WU, Kim HG, Jeong MH, Cho SC, Jung AD, Cho YC, et al. Is cardiovascular disease more common in Vietnam veterans exposed to agent orange?. *Korean J Prev Med*. 2007; 73(3): 299-306.
  34. Chang M, Kim T. A preliminary study on the psychopathological protocols of the Vietnam war agent orange patients and Korean civil war wound soldier. *The Korea Academia-Industrial Cooperation Society*. 2009; 10(9): 2492-2500.
  35. Kang GS, Hwang SM, Kim DM, Suh MK, Kim JH, Jang TJ. Multiple merkel cell carcinoma in Vietnam veteran exposed to agent orange. *Korean Dermatological Association*. 2011; 49(2): 191-194.
  36. Yi S, Won JU, Hong JS, Ohrr H. A proposal of study designs and methods for evaluating the adverse health effects of agent orange among Korean Vietnam veterans. *Korean J Prev Med*. 2001; 34(3): 228-236.
  37. Sull JW. Pesticide use and cancer incidence in Korea. Master's thesis of Yonsei University; 2001.
  38. Kang HK, Dalager NA, Needham LL, Patterson DG, Lees PSJ, Yates K, et al. Health status of army chemical corps Vietnam veterans who sprayed defoliant in Vietnam. *Am J Ind Med*. 2006; 49: 875-884.
  39. Young AL, Cecil PF, Guilmartin JF. Assessing possible exposures of ground troops to agent orange during the Vietnam war : the use of contemporary military records. *Environ Sci & Pollut Res*. 2004; 11(6): 249-358.
  40. Pollitt F. Polychlorinated dibenzodioxins and polychlorinated dibenzofurans. Regul. *Toxicol Pharmacol*. 1999; 30: S63-68.
  41. Kumagai S, Koda S, Miyakita T, Ueno M. Polychlorinated dibenzo-*p*-dioxin and dibenzofuran concentrations in serum samples of workers at intermittently burning municipal waste incinerators in Japan. *Occup Environ Med*. 2002; 59(6): 362-368.
  42. Fingerhut MA, Haperin WE, Marlow DA, Piacitelli LA, Honghar PA, Weeney MH, et al. Cancer mortality in workers exposed to 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-*p*-dioxin. *The New England Journal of Medicine*. 1991; 324(4): 212-218.



43. Michalek JE, Tripathi RC. Pharmacokinetics of TCDD in veterans of operation ranch hand: 5-year follow-up. *J Toxicol Environ Health Part A*. 1999; 57: 369-378.
44. Young AL. TCDD biomonitoring and exposure to agent orange : still the gold standard. *Environ Sci & Pollut Res*. 2004; 11(3): 143-146.
45. Kim JS, Lee HS, Lee HB, Lee WY, Park YJ, Kim SS. A preliminary epidemiologic study on Korean veterans exposed to herbicides in Vietnam war. *Korean J Prev Med*. 1994; 27(4): 711-734.
46. Stellman JM, Stellman SD, Weber T, Tomasallo C, Stellman AB, Christian R. A geographic information system for characterizing exposure to agent orange and other herbicides in Vietnam. *Environmental Health Perspectives*. 2003; 111(3): 321-328.
47. Stellman SD, Stellman JM. Exposure opportunity models for agent orange, dioxin, and other military herbicides used in Vietnam, 1961-1971. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*. 2004; 14: 354-362.
48. Warner N, Mocarrelli P, Samuels S, Needham L, Brambilla P, Eskenazi B. Dioxin exposure and cancer risk in the Seveso women's health study. *Environmental Health Perspectives*. 2011; 119(12): 1700-1705.
49. California EPA, USA. Public Health Goal for TCDD in drinking water; 2005.
50. Revich B, Aksel E, Ushakova T, Ivanova I, Zhuchenko N, Klyuev N, et al. Dioxin exposure and public health in Chapaevsk, Russia. *Chemosphere*. 2001; 43: 951-966.