

반도체 FAB근무에 대한 정량적 노출지표 개발

신규식 · 김태훈 · 정현희 · 조수현 · 이경호*

삼성전자 건강연구소

Development of Quantitative Exposure Index in Semiconductor Fabrication Work

Kyu-Sik Shin · Taehun Kim · Hyun Hee Jung · Soo-Hun Cho · Kyoungho Lee*

Samsung Health Research Institute, Samsung Electronics Co. Ltd.

ABSTRACT

Objectives: It is difficult to identify exposure factors in the semiconductor industry due to low exposure levels to hazardous substances and because various processes take place in fabrication (FAB). Furthermore, a single worker often experiences a variety of job histories, so it is difficult to classify similar exposure groups (SEG) in the semiconductor industry. Therefore, we intend to develop a new exposure index, the period of working in FAB, that is applicable to the semiconductor industry.

Methods: First, in specifying the classification of jobs, we clearly distinguished whether they were FAB workers or non-FAB workers. We checked FAB working hours per week through questionnaires administered to FAB workers. We derived an exposure index called FAB-Year that can represent the period of working in FAB. FAB-Year is an index that can quantitatively indicate the period of working in FAB, and one FAB-Year is defined as working in FAB for 40 hours per week for one year.

Results: A total of 8,453 persons were surveyed, and male engineers and female operators occupied 90% of the total. The average total years of service of the subjects was 9.7 years, and the average FAB-Year value was 6.8. This means that the FAB-working ratio occupies 70% of total years of service. The average FAB-Year value for female operators was 8.4, for male facility engineers it was 7.7, and for male process engineers it was 3.5. A FAB-Year standardization value according to personal information (gender, job group, entry year, retirement year) for the survey subjects can be calculated, and standardized estimation values can be applied to workers who are not participating in the survey, such as retirees and workers on a leave of absence (LOA).

Conclusions: This study suggests an alternative method for overcoming the limitations on epidemiological study of the semiconductor industry where it is difficult to classify exposure groups by developing a new exposure index called FAB-Year. Since FAB-Year is a quantitative index, we expect that various approaches will be possible in future epidemiological studies.

Key words: FAB-Year, Exposure index, Semiconductor, Similar exposure group

I. 서 론

반도체산업 근로자의 건강영향성을 구명(究明)하기 위한 다양한 조사와 연구가 진행되어 왔지만, 반도체 Fabrication(FAB)의 작업환경이 근로자의 건강장해를 유발한다는 연관성에 대해 명확히 규명(淸明)

된 연구결과는 아직 확인된 바 없다(Park, 2011; Choi et al., 2015). 특정 직무가 질병 발생에 미치는 영향을 구명하기 위해서는 각 직무 근로자에 대한 노출 특성을 확인하고 노출 특성이 서로 다른 그룹으로 분류하여 유사노출그룹(Similar Exposure Group, SEG)을 구축하는 것이 매우 중요하다. 하지만 반도체산업

*Corresponding author: Kyoungho Lee, Tel: 010-5314-3789, E-mail: khlee3789@gmail.com

Samsung Health Research Institute, Samsung Electronics Co. 17L 1, Samsungjeonja-ro, Hwaseong-si, Gyeonggi-do 18448 Republic of Korea

Received: September 1, 2017, Revised: September 8, 2017, Accepted: September 22, 2017

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

에서 노출인자를 확인하고 SEG를 구축하려는 시도 (Hammond et al., 1995; McElvenny et al., 2001; Marano et al., 2010)는 있었으나, 실제 연구에 적용되기는 어려웠다.

가장 중요한 이유는 그 동안의 선행 연구에서 반도체 FAB 내에 근로자의 건강장해를 유발할 수 있는 명확한 유해인자를 찾지 못했기 때문이다. 반도체 FAB은 다수의 화학물질이 사용되고 있지만 공기 중 노출농도는 극히 낮다(Hammond et al., 1995). 국내외 반도체 FAB 내의 다양한 화학물질에 대한 공기 중 노출수준이 노출기준의 10%를 초과하지 않았다 (Park, 2016). 미국 35개 반도체 FAB 대상 노출평가에서 공기 중 노출수준이 노출기준의 2% 이내인 것으로 보고된 바 있으며(Woskie et al., 2000), 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원에서 실시한 노출농도 평가 결과에서도 벤젠, 톨루엔을 포함한 총 10여종의 휘발성 유기화합물의 노출수준이 모두 노출기준의 1/100 이하였다(Park et al., 2012). 그리고 반도체 FAB 내에 다양한 공정이 혼재하고 있고 공정별 물리적 구분이 없어 FAB 내의 공기 전체가 혼합되어 재순환되기 때문에 공정별로 노출그룹을 분류하는 것이 큰 의미가 없다(Kim et al., 2011). 또한 한 작업자가 다양한 공정 혹은 직무를 경험하는 경우가 많으며 개개인의 과거 노출 이력을 정확히 확인하는 것이 매우 어렵다(Park, 2011; Park et al., 2016).

반도체산업에 있어서 유해인자 확인 및 SEG 분류가 어려운 한계를 인정하고 새로운 접근법을 찾기 위해 고민하였으며, 담배의 건강영향에 관한 연구에 사용되고 있는 Pack Year(PY)라는 지표에서 단서를 얻었다. PY는 하루 평균 담배 소비량(갑)과 흡연기간(년)을 곱한 값으로, 흡연량을 나타내는 지표이다. 담배의 유해성에 관한 초창기 연구에서는 담배의 종류, 흡연 방법 등 매우 다양한 지표가 활용되었으나, 1960년대 이후부터 현재까지 PY라는 양적인 개념의 지표가 대표적으로 사용되어 오고 있다(Bower, 1961; Silverman, 1975). 반도체 FAB에 대한 역학연구에서도 PY와 같은 지표 도입의 타당성을 살펴볼 필요가 있다.

본 연구는 FAB 내 근로자가 그 외 근로자(사무직 등)에 비해 화학물질 노출에 더 취약할 것이라는 가

정 하에 FAB근무 자체를 유해인자로 규정하고, 해당 근무기간의 양적인 개념을 갖는 FAB-Year라는 새로운 노출지표를 도입하여 역학연구에 활용 가능한지 여부를 분석하였다.

II. 연구방법

1. 직무분류 구체화

반도체 역학 연구 시 근로자들의 직무분류를 위한 다양한 시도가 있었으며, 기존 대부분의 연구에서 회사 인사정보 중 직군과 소속부서 정보를 기반으로 직무분류를 해왔다(Hammond et al., 1995; Marano et al., 2010). 그러나 기존의 선행연구에서는 FAB(생산직)과 non-FAB(사무직)의 2가지 분류만으로 직무분류를 하였다(Hammond et al., 1995; Park, 2011). 하지만 이와 같은 2분법적 분류체계로는 명확하지 않은 부서가 존재하며, 과거 직무이력을 고려하지 않고 현재의 상태만을 반영하였기 때문에 오분류(misclassification)의 가능성이 높다.

이와 같은 한계점을 보완하기 위하여 FAB, non-FAB 외에 semi-FAB 분류를 추가하였다. 부서 내 FAB인력과 non-FAB인력이 혼재한 경우, 혹은 FAB근무가 비정기적으로 이루어지는 경우 semi-FAB으로 구분하였다. 또한 개개인의 연도별 부서변경 이력을 모두 반영하여 가장 오랜 기간의 직무를 해당 근로자의 직무로 정하였다.

2. 설문조사를 통한 FAB근무이력 조사

FAB근무이력은 인사정보 자료를 기반으로 개별 설문조사 방법을 이용하여 개개인의 연도별 FAB근무이력을 조사하였다. 설문조사는 생산직 14개 부서를 대상으로 실시하였으며, 참여자 수는 총 8,453명이다. 직군별로는 E직군(공정엔지니어), F직군(설비엔지니어), P직군(오퍼레이터), G직군(일반사무직)으로 구성되어 있다.

설문항목은 일평균 FAB근무시간, 주평균 FAB근무일수 2가지이며, 연도별로 구분하여 작성하도록 하였다. 그리고 조사결과의 신뢰성을 높이기 위해 각 부서별로 해당 부서에서 오랜 근무경력을 가진 관리자가 일괄 취합하는 방식으로 진행하여 오기입이나 거짓정보 기입의 우려를 최소화하였다. 또한 조사 대

상자들에게 작성기준을 제시하여 동일한 기준으로 기입하도록 하였다. 한 해에 직무나 근무형태가 변경된 경우에는 연중 더 많은 기간 동안의 직무나 근무형태로 기입하도록 하였고, 일정한 주기 없이 간헐적으로 FAB근무를 한 경우에는 한 달 기준 FAB근무 시간 전체값을 주당 평균값으로 환산하여 작성하도록 하였다.

3. FAB-Year 산출 및 표준화

1) FAB-Year 산출

FAB-Year 산출에 앞서 주당 FAB근무시간을 연도별로 구분하여 계산하였다. 일평균 FAB근무시간과 주평균 FAB근무일수의 곱이 주당 FAB근무시간이 된다.

FAB-Year는 FAB근무기간을 정량적으로 나타낼 수 있는 지표로서, FAB근무를 주당 40시간씩 1년간 수행한 경우를 1 FAB-Year로 정의하였다. 즉, FAB-Year 값은 연도별 주당 FAB근무시간을 40시간으로 나눈 값이며, 연도별로 산출된 FAB-Year 값의 총 합이 Total FAB-Year가 된다.

또한 Total FAB-Year를 총 근속년수(years of service)로 나누면 전체 근속기간 중 FAB근무 비율(working ratio in FAB)을 산출할 수 있다.

- 주당 FAB근무시간 = 일평균 FAB근무시간 × 주평균 FAB근무일수
- FAB-Year = 주당 FAB근무시간 ÷ 40시간
- Total FAB-Year = ∑(연도별 FAB-Year)
- Working ratio in FAB = Total FAB-Year ÷ 총 근속년수

2) FAB-Year 표준화

역학연구에 FAB-Year 노출지표의 활용도를 더욱 높이기 위해서는 FAB-Year 표준화값이 필요하다. 조사 대상자들의 인사정보(성별, 직군, 입사년도, 퇴사년도)에 따른 FAB-Year 표준화값을 이용하여 퇴사자, 직무변경자, 휴직자 등 설문조사에 참여하지 않은 근로자에 대해서도 해당되는 FAB-Year 표준화값을 추정값으로 적용 가능하다.

FAB-Year 표준화값을 구하기 위해 우선적으로 성

별, 직군, 입사년도가 동일한 집단으로 조사자들을 분류하였다. 분류한 각각의 그룹에 대해 연도별 FAB-Year의 평균값을 구하고 연도별 누적하면 해당되는 누적값이 표준화값이 된다. 미조사자들에 대해서도 해당되는 성별, 직군, 입사년도, 퇴사년도의 정보만으로 동일한 그룹의 FAB-Year 표준화값을 적용할 수 있다.

III. 결 과

1. 대상자 분포

조사 대상자들의 성별과 직군에 따른 분포 현황은 Table 1과 같다. 남성 E직군, 남성 F직군, 여성 P직군이 조사 대상자의 약 90% 가량을 차지했다. 또한 근속년수는 남녀 모두 5~9년이 가장 많았다(Table 2).

Table 1. Distribution of subjects by gender and job group

Group	E*	F†	P‡	G§	Others	Total
Total	1,859	3,468	2,993	126	7	8,453
Male	1,548	3,264	224	83	7	5,126
Female	311	204	2,769	43	0	3,327

* process engineer, † facility engineer, ‡ operator, § general office worker, || soft-ware engineer and part-time employee

Table 2. Distribution of subjects by gender and years of service

	years of service(yr)					
	0~4	5~9	10~14	15~19	20~24	25~
Total	1,770	2,785	2,108	1,014	619	157
Male	1,252	1,603	1,126	529	469	147
Female	518	1,182	982	485	150	10

2. FAB-Year 산출 결과

조사 대상자 전체의 평균 근속년수는 9.7년이고 평균 FAB-Year 값은 6.8으로, working ratio in FAB은 약 0.70이었다. FAB-Year 값은 남성이 6.1, 여성이 7.9이고, working ratio in FAB 또한 여성이 0.79, 남성이 0.64로 여성에서 높은 결과를 보였다. 직군별 FAB-Year 값은 여성 P직군이 8.9, 남성 F직군이 7.7, 남성 E직군이 3.5이었고, working ratio in FAB은 각각 0.82, 0.76, 0.43이었다(Table 3).

Table 3. FAB-Year and working ratio in FAB by gender and job group

	N	years of service (yr)		FAB-Year		working ratio in FAB (FAB-Year ÷ years of service)
		Mean	S.D.	Mean	S.D.	
Total	8,453	9.7	6.1	6.8	4.9	0.70
Male	5,126	9.5	6.6	6.1	4.8	0.64
E group	1,548	8.2	5.9	3.5	3.4	0.43
F group	3,264	10.1	6.6	7.7	4.8	0.76
Others*	314	10.3	8.3	2.3	3.2	0.22
Female	3,327	10.0	5.2	7.9	4.9	0.79
P group	2,769	10.9	4.9	8.9	4.5	0.82
Others†	558	5.4	4.1	3.1	3.5	0.58

* male workers who were not classified into job group E and F.
† female workers who were not classified into job group P

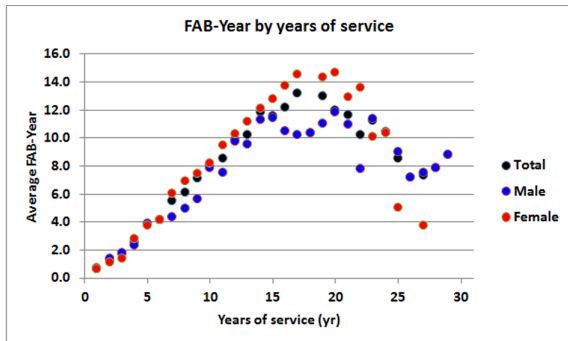


Figure 1. FAB-Year by years of service

Figure 1은 근속년수별 분석결과이다. 근속년수가 길어짐에 따라 FAB-Year 값도 증가하는 경향을 보이지만, 어느 시점 이후로는 더 이상 증가하지 않았다. 전체적으로 근속년수가 약 20년 이상인 경우(남성 약 15년, 여성 약 20년)에는 FAB-Year 값이 더 이상 증가하지 않았다. 그리고 FAB-Year의 최대값은 15를 넘지 않았다.

3. FAB-Year 표준화

조사 대상자들의 성별, 직군, 입사년도, 퇴사년도에 따른 FAB-Year 표준화값을 도출하였다(Table 4). 예를 들면, 설문조사에 참여하지 않았지만 2000년에 입사하여 10년간 근무하고 2010년에 퇴사한 E직군 남성 근로자의 FAB-Year는 표준화값인 7.4로 적용할 수 있다.

Table 4. FAB-Year standardization value

(a) FAB-Year standardization value of male job group E

퇴사년도	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000
1998	7.8	7.7	7.6	7.5	7.4	7.2	6.9	6.6	6.3	6.0	5.5	5.0	4.3	3.7	3.0	2.3
1999	7.5	7.4	7.2	7.0	6.8	6.6	6.3	6.0	5.6	5.2	4.8	4.3	3.6	2.9	2.2	1.4
2000	8.5	8.3	8.2	8.0	7.7	7.4	7.0	6.6	6.1	5.5	4.8	4.0	3.2	2.4	1.5	0.8
2001	5.5	5.4	5.3	5.2	5.1	5.0	4.8	4.5	4.1	3.6	3.1	2.5	1.8	1.3	0.6	
2002	6.1	6.1	6.1	6.0	6.0	5.8	5.5	4.9	4.3	3.6	2.8	2.0	1.2	0.7		
2003	6.1	6.0	5.9	5.7	5.4	5.0	4.6	4.0	3.4	2.7	2.0	1.2	0.8			
2004	7.0	6.9	6.7	6.4	6.0	5.4	4.8	4.0	3.2	2.4	1.5	0.8				
2005	5.2	5.1	5.0	4.8	4.5	4.0	3.4	2.8	2.0	1.3	0.8					
2006	5.7	5.6	5.3	4.9	4.4	3.9	3.2	2.4	1.5	0.9						
2007	4.3	4.1	3.8	3.4	3.1	2.6	2.0	1.3	0.7							
2008	3.7	3.6	3.3	2.9	2.5	1.9	1.3	0.7								
2009	2.8	2.7	2.5	2.2	1.8	1.3	0.7									
2010	2.5	2.4	2.1	1.7	1.2	0.7										
2011	2.0	1.9	1.6	1.2	0.7											
2012	1.6	1.4	1.0	0.6												
2013	1.4	1.0	0.6													
2014	0.9	0.5														
2015	0.3															

(b) FAB-Year standardization value of male job group F

퇴사년도	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000
1998	12.5	12.0	11.5	10.9	10.2	9.9	9.2	8.4	7.6	6.8	5.9	5.0	4.1	3.2	2.4	2.1
1999	11.9	11.4	10.9	10.3	9.7	9.1	8.4	7.9	7.1	6.3	5.5	4.6	3.7	2.8	2.2	1.6
2000	12.4	11.9	11.3	10.6	9.9	9.1	8.3	7.5	6.7	5.8	5.0	4.1	3.3	2.5	1.7	0.9
2001	12.7	12.0	11.2	10.3	9.3	8.4	7.4	6.4	5.5	4.5	3.6	2.8	2.1	1.6	1.0	
2002	12.4	12.0	11.2	10.4	9.5	8.6	7.6	6.7	5.8	4.8	3.8	2.8	1.8	1.0		
2003	11.3	10.7	9.9	9.1	8.2	7.4	6.4	5.5	4.5	3.6	2.7	1.8	1.0			
2004	10.9	10.2	9.5	8.6	7.7	6.8	5.8	4.8	3.9	2.9	1.9	1.0				
2005	9.6	8.9	8.1	7.3	6.5	5.6	4.7	3.7	2.7	1.7	1.0					
2006	9.0	8.2	7.4	6.6	5.7	4.7	3.8	2.8	1.9	1.0						
2007	7.6	6.9	6.2	5.4	4.5	3.6	2.7	1.8	0.9							
2008	6.4	5.9	5.1	4.3	3.5	2.7	1.7	1.0								
2009	6.6	5.7	4.8	3.8	2.8	1.7	0.9									
2010	5.2	4.4	3.5	2.6	1.7	0.9										
2011	4.5	3.7	2.8	1.8	1.0											
2012	3.4	2.6	1.7	0.9												
2013	2.4	1.6	0.9													
2014	1.6	0.9														
2015	1.0															

(c) FAB-Year standardization value of female job group P

퇴사년도	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000
1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1999	14.5	14.1	13.4	12.7	11.9	11.3	10.5	9.6	8.7	7.7	6.7	5.8	4.9	3.9	2.9	1.9
2000	13.9	13.3	12.6	11.9	11.1	10.2	9.4	8.4	7.5	6.6	5.7	4.8	3.8	2.8	1.9	1.0
2001	13.4	12.5	11.7	10.8	10.1	9.3	8.4	7.4	6.5	5.5	4.6	3.8	2.9	1.9	0.9	
2002	12.1	11.8	11.0	10.3	9.5	8.6	7.7	6.7	5.8	4.8	3.9	2.9	1.9	1.0		
2003	11.2	10.5	9.9	9.1	8.3	7.5	6.6	5.7	4.7	3.8	2.8	1.9	1.0			
2004	10.3	9.8	9.1	8.3	7.4	6.5	5.6	4.7	3.8	2.8	1.9	1.0				
2005	9.6	9.0	8.3	7.5	6.7	5.7	4.8	3.8	2.9	1.9	1.0					
2006	8.2	7.7	7.0	6.3	5.5	4.6	3.7	2.7	1.8	0.9						
2007	7.5	7.0	6.3	5.5	4.7	3.8	2.8	1.9	0.9							
2008	7.0	6.3	5.5	4.7	3.8	2.9	1.9	1.0								
2009	6.1	5.4	4.5	3.6	2.7	1.8	0.9									
2010	4.7	4.1	3.3	2.5	1.7	0.9										
2011	4.2	3.4	2.6	1.7	0.9											
2012	3.4	2.8	1.9	1.0												
2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2014	0.8	0.6														
2015	0.6															

IV. 고 찰

FAB-Year 값을 통해 남성보다는 여성이, 엔지니어(E직군, F직군)보다는 오퍼레이터(P직군)가 FAB근무 비율이 더 많다는 것을 정량적으로 확인할 수 있었다. 기존 연구에서는 생산직 근로자의 근속기간 전체를 FAB근무기간으로 보았으나, FAB-Year 지표를 도입한다면 해당 근로자의 실제 FAB근무기간을 적용할 수 있을 것이다. 조사 대상자 전체의 평균 working ratio in FAB 값이 0.70이라는 것은 생산직 근로자라 하더라도 전체 근속기간 중 약 30% 가량은 FAB 내에서 근무하지 않고 있음을 보여준다. 또한 여성이 남성에 비해 높은 FAB-Year 값을 보이는데, 남성의 대

부분을 차지하는 엔지니어(E직군, F직군)는 근속년수가 길고 직급이 올라감에 따라 FAB근무 비중이 적어지게 되는 반면, 여성의 대부분인 오퍼레이터(P직군)는 근속년수와 직급에 관계없이 주 업무가 FAB 내에서 이루어지기 때문이다. 또한 근속년수가 약 20년 정도 되는 시점 이후로는 더 이상 FAB-Year 값이 증가하지 않는데, 이는 근속년수가 20년 이상인 근로자는 대부분 FAB근무가 거의 없는 부서 관리자인 경우가 많기 때문으로 판단된다.

표준화값의 연도별 증가율이 입사초기보다 근속기간이 오래될수록 낮아지는 것도 근속년수가 길고 직급이 높아질수록 FAB근무가 적어짐을 의미한다. 또한 근속기간이 같더라도 최근 입사자일수록 FAB-Year 값이 적은 결과를 보이는데, 이는 최근 자동화로 인하여 FAB근무 빈도가 전반적으로 적어진 것을 반영한다.

Hammond et al.(1995)는 반도체산업에서의 단계별 노출평가 전략 연구를 수행한 바 있다. 첫 단계에서는 대상자들을 FAB과 non-FAB 그룹으로 분류하였고, 2단계에서는 직군과 공정에 따른 work group으로 분류하였으며, 마지막 3단계에서는 유해인자별로 노출등급화하는 구체적인 노출평가 전략을 제시하였다(Hammond et al., 1995). 본 연구는 Hammond et al.(1995)가 제시한 노출평가 전략에서 착안하여 2, 3단계 분류의 오분류를 최소화할 수 있는 새로운 노출지표의 필요성을 인식하였다. 즉, 노출그룹의 특이성을 높이기보다는 정확도가 높고 모호성을 최소화한 양적인 개념을 가진 노출지표를 개발하였다. 이는 반도체산업 역학연구에 있어서 새로운 노출지표를 개발하고 도입하려는 최초의 시도였다. FAB-Year 노출지표를 통해 직무분류의 오분류, 인사자료의 한계 등을 극복함으로써 역학연구 수행에 보다 합리적인 노출자료를 제공할 수 있을 것이다.

FAB-Year는 근로자 본인의 기억에 의존한 자료를 기반으로 하였다는 점에서 recall bias가 존재할 수밖에 없다는 한계는 있지만, 근속기간이 긴 경험이 많은 근로자들과의 인터뷰, 유사그룹간의 분석결과 비교 검증 등을 통하여 자료의 신뢰성을 확보할 수 있었다. 또한 8,453명이라는 대규모 대상자에 대한 설문 분석이라는 점에서 결과의 신뢰성과 대표성을 가질 수 있다고 판단한다.

V. 결 론

본 연구의 조사 대상자는 총 8,453명(남 5,126, 여 3,327)으로, 평균 근속년수는 9.7년, 평균 FAB-Year 값은 6.8이다. 또한 성별, 직군, 입사년도, 퇴사년도에 따라 FAB-Year 표준화값을 도출하였다.

이와 같이 정량적 수치를 제공할 수 있는 FAB-Year라는 새로운 노출지표를 개발하여 그 적용가능성을 확인하였고, 노출분류가 어려운 반도체산업 역학연구의 한계를 극복할 수 있는 대안을 제시하였다는 데에 의의가 있다고 판단한다. FAB-Year는 정량적인 지표이기 때문에 역학연구에 있어서 다양한 시도와 접근이 가능할 것으로 기대한다. 또한 대부분의 반도체 회사가 유사한 업무형태로 운영되고 있기 때문에 다수의 반도체 회사를 포함한 통합 연구도 가능할 것으로 판단한다.

향후 FAB-Year를 활용한 역학연구에서 건강영향에 대한 연관성이 검증된다 하더라도, 근본적으로는 FAB 작업환경에서의 유해인자를 구명하는 연구는 지속적으로 수행되어야 할 것이다.

References

- Bower G. Ventilation studies in nonsmokers and smokers. *Diseases of the chest* 1961;40(4):386-390
- Choi KM, Lee JE, Cho KY, Kim KS, Cho SH. Clean room structure, air conditioning and contamination control systems in the semiconductor fabrication process. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2015;25(2):202-210
- Hammond SK, Hines CJ, Hallock MF, Woskie SR, Abdollahzadeh S et al. Tiered exposure-assessment strategy in the semiconductor health study. *American Journal of Industrial Medicine* 1995;28(6):661-680
- McElvenny D, Darnton A, Hodgson J, Clarke S, Elliott R et al. Cancer among current and former workers at National Semiconductor (UK) Ltd, Greenock. *Health and Safety Executive(HSE)* 2001
- Kim EA, Lee HE, Ryu HW, Park SH, Kang SK. Cases series of malignant lymphohematopoietic disorder in korean semiconductor industry. *Saf Health Work* 2011;2(2):122-134
- Marano DE, Boice JD, Munro HM, Chadda BK, Williams ME. Exposure assessment among US workers employed in semiconductor wafer fabrication. *J Occup Environ Med* 2010;52(11):1075-1081

- Park DU. Retrospective exposure assessment of wafer fabrication workers in the semiconductor industry. *J Env Hlth Sci* 2011;37(1):12-21
- Park DU. Review of hazardous agent level in wafer fabrication operation focusing on exposure to chemicals and radiation. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2016; 26(1):1-10
- Park DU, Choi SJ, Heo JG, Roh HS, Park JH et al. Job-specific questionnaire for estimating exposure to hazardous agents among semiconductor workers. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2016;26(1):58-63
- Park SH, Chung EK, Shin JA, Lee KY, Lee NR et al. Study on characteristics of occupational environmental and hazardous materials exposure in semiconductor manufacturing workers. *Occup Saf & Health Research Inst, KOSHA*, 2012
- Silverman NA, Alexander JC, Chretien PB. In vitro lymphocyte reactivity and T-cell levels in chronic cigarette smokers. *Clin exp Immunol* 1975;22(2): 285-292
- Woskie SR, Hammond SK, Hines CJ, Hallock MF, Kenyon E, et al. Personal fluoride and solvent exposures, and their determinants, in semiconductor manufacturing. *Appl Occup Environ Hyg* 2000;15:354-361