

반도체 공정 근로자 직무 노출을 추정하기 위한 설문 (Job-specific Questionnaire) 개발

박동욱^{1*} · 최상준² · 허정진¹ · 노현석³ · 박지훈⁵ · 하권철⁴ ·
윤충식⁵ · 김 원⁶ · 김승원⁷ · 김형렬⁸ · 권호장⁹

¹한국방송통신대학교 환경보건학과, ²대구가톨릭대학교 산업보건학과, ³타이니랩스,
⁴창원대학교 보건위생학과, ⁵서울대학교 보건대학원 환경보건학과, 서울대학교 보건환경연구소,
⁶원진노동환경건강연구소, ⁷계명대학교 공중보건학과, ⁸가톨릭대학교 의과대학 직업환경의학교실
⁹단국대학교 의과대학 예방의학교실

Job-specific Questionnaire for Estimating Exposure to Hazardous Agents among Semiconductor Workers

Donguk Park^{1*} · Sangjun Choi² · Jeongin Heo¹ · Hyunseog Roh³ · Jihoon Park⁵ ·
Kwonchul Ha⁴ · Chungsik Yoon⁵ · Won Kim⁶ · Seungwon Kim⁷ · Hyoungryoul Kim⁸ · Hojang Kwon⁹

¹Department of Environmental Health, Korea National Open University,

²Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu, ³TinyLabs,

⁴Department of Health Science and Biochemistry, Changwon National University,

⁵Department of Environmental Health Sciences, Institute of Health and Environment,
Graduate School of Public Health, Seoul National University,

⁶Wonjin Institute for Occupational and Environmental Health,

⁷Department of Public Health, Keimyung University,

⁸Department of Occupational and Environmental Medicine, College of Medicine, The Catholic University,

⁹Department of Preventive Medicine, College of Medicine, Dankuk University

ABSTRACT

Objectives: One major limitation encountered in retrospective exposure assessment for epidemiological study is the lack of exposure records and information maintained by companies which if they existed would allow the estimation of past exposure to hazardous operations and agents. This study developed a job-specific questionnaire(JSQ) to estimate exposure profiles among semiconductor workers, including operation and job.

Methods: This JSQ can be directly applied to workers who work or have worked in a wafer fabrication or a chip packaging and assembly facility.

Results and Conclusions: We used this JSQ to obtain past exposure information from semiconductor workers via face-to-face investigation. Major contents include questions on the facilities, operations and jobs to which they have been exposed since they

*Corresponding author: Dong Uk Park, Tel: 02-3668-4707, E-mail: pdw545@gmail.com

Department of Environmental Health, Korea National Open University, 169 Dongsung-dong, Jongroku, Seoul, Korea

Received: February 3, 2016, Revised: March 4, 2016, Accepted: March 14, 2016

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.

entered employment in the semiconductor industry. The total number of questions in the JSQ is 18. Responses to this JSQ can be used not only to estimate retrospective exposure to operations and jobs in the semiconductor industry, but also to associate with the risk of all causes of death and risk of disease, including cancer.

Key words: Job-specific questionnaire(JSQ), wafer fabrication operation, chip packaging and assembly operation, retrospective exposure

I. 서 론

근로자 공정 및 직무 노출은 회사가 보관하고 있는 직무 기록, 면담이나 설문 등을 활용해서 평가할 수 있다. 근로자가 근무했던 공정, 담당했던 직무, 근무기간, 취급했던 화학물질이나 기계 등에 대한 기록이 자세할수록 유해인자 노출평가는 수월하다. 회사가 보관하고 있는 직무 관련 유해인자 노출정보는 근무기간을 제외하고 부족한 경우가 많다(McElvenny et al., 2003; Nichols & Sorahan, 2005). 근로자가 오랜 기간 동안 근무한 공정 및 직무 등 정보가 인사기록과 함께 전산화되어 있지 않은 경우가 많기 때문이다. 설령 이들 노출정보가 보관되어 있더라도 공정 및 직부분류가 표준화되어 있지 않거나 연계되어 있지 않아 노출정보로 바로 활용하기가 어려운 경우가 많다. 이처럼 회사에 보관된 공정 및 직무노출정보 부족은 반도체 공장 역학조사에서 보고된 일반적인 문제점들이다.

역학조사에서 과거 직무노출평가(retrospective exposure assessment) 내용과 수준(quality)은 질병과 연관이 있는 직무력 또는 원인인자를 찾는 데 매우 중요하다. 직무노출특성에 연구 대상자를 유사하게 분류하는데 활용되기 때문이다. 회사가 근로자의 공정 및 직무 기록과 정보를 보관하고 있지 않다면 직무관련설문(Job-Specific Questionnaire, JSQ)을 통하여 근로자부터 얻을 수밖에 없다.

본 연구에서는 반도체 공정 근로자의 공정, 직무 등에 대한 노출을 추정할 수 있는 JSQ를 개발하였다. JSQ에 포함된 설문 항목은 향후 반도체 업종뿐만 아니라 과거 직무노출 추정을 위한 후향적 역학조사에서 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

II. 연구 방법

본 연구에서는 2개 공정(웨이퍼 가공과 패키지)에

적용할 수 있도록 JSQ 항목을 개발하였다. 웨이퍼 가공 공정은 부도체인 실리콘 웨이퍼(silicon wafer)에 물리적, 화학적 가공과정(fabrication)을 거쳐 전기적 특성을 부여하는 공정이고, 패키지 공정은 반도체(semiconductor)로 가공된 웨이퍼 안에 수 많은 칩(chip)들을 분리, 가공하고 포장하여 전자제품용으로 완성하는 공정이다. 반도체 공정 JSQ는 국내외 문헌 고찰(Wald & Jones, 1987), 저자들의 경험 그리고 “A” 반도체공장 방문 등에 근거해서 개발하였고, 현장 근로자 면담과 설문 응답 테스트를 거쳐 완성하였다. JSQ에 언급한 건물, 공장, 공정 그리고 직무 이름은 “A” 반도체 공정에서 사용하는 용어들이고 질문은 근로자들이 쉽게 이해할 수 있도록 구성하였다. 표준화 되지 않은 공정과 직무들은 현장에서 흔하게 사용되는 용어로 표준화하였다. 조사자 설명을 듣고 1시간 내에 응답할 수 있는 질문 항목 수와 내용으로 구성된 준 체크리스트용 JSQ이다. JSQ 원문은 부록에 첨부하였고 한국산업보건학회 홈페이지(www.kiha.org)에서 자유롭게 다운로드 할 수 있다.

III. 연구결과

JSQ는 반도체 산업(공장) 고용 이전과 이후로 구분하여 직무노출을 파악하였다. 웨이퍼 가공 공장, 패키지 공장, 그리고 기타 공정은 “A” 반도체에 고용된 전체 기간 중 50%를 기준으로 구분하여 응답하도록 설계했다. JSQ를 구성한 총 문항 수는 17개이고 주요 내용은 Table 1에 정리하였다.

1. 반도체 공정 고용 전 직무력

반도체 공정에서 일하기 전 반도체 공정, 제조업 근무 경력과 근무기간을 파악하는 항목들이다(부록 1번 참조). 반도체 산업과 관련이 없거나 유의한 화학물질 노출이 없는 경우 고용 전 영향은 유의하지 않는 것으로 판단해도 된다. 본 JSQ 응답 결과는

Table 1. Major contents of job specific questionnaire(JSQ) for the semiconductor industry

| Major contents | Sub-major contents questioned | No. of questions (question number) |
|---|--|------------------------------------|
| Prior to employment in the semiconductor industry | Ever worked in the semiconductor industry or other manufacturing industry | 3(1-1-1-3) |
| After employment in the semiconductor industry | Semiconductor operation | 2-13 |
| | Employment duration | 1 (2) |
| | Location of company | 1 (3) |
| | Location of facility or building | 1 (4) |
| | Type of fab operation | 3 (5-7) |
| | Wafer size handled | 1 (8) |
| | Type of job in fab operation | 1 (9) |
| | Type of packaging operation | 1 (10-11) |
| | Type of job in packaging operation | 1 (12) |
| | Type of job in other operation or office | 1 (13) |
| | Experiences of gas leakage, evacuation for chemical leakage and unusual chemical odors | 4 (14-17) |
| | Type of shift work | 1 (18) |

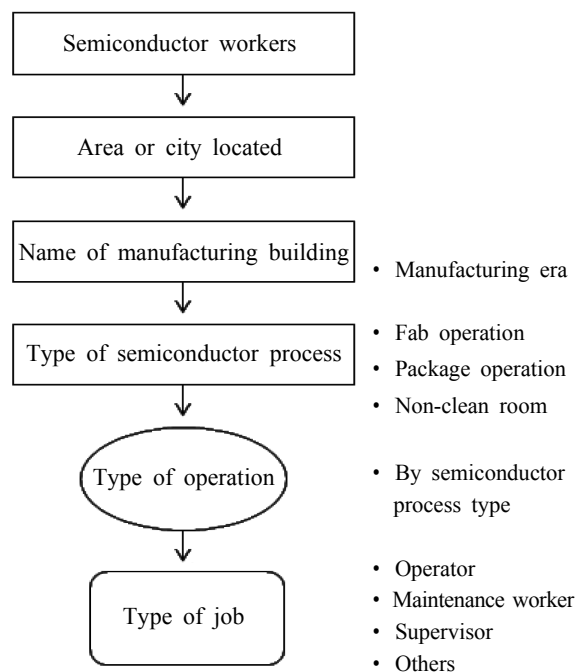
표준화 사망비(Standardized Mortality Ratio, SMR), 암 등 만성 질병 유병률 및 발생률 그리고 생식독성의 위험과 연관성을 분석하는 목적이기 때문에 반도체 업종 근무여부만을 파악했다. 만약 특정 질병 위험의 원인을 밝히는 연구라면 질병의 원인이 될 수 있는 구체적인 직무, 유해인자 노출을 추정할 수 있는 항목들을 추가로 개발해야 한다. 고등학교, 대학교, 군 복무, 고용 전 산업에서 노출 가능한 특정 유해인자 등에 대한 설문항목이 필요하다.

2. 반도체 공정 고용 이후 직무력

반도체 공정에 고용된 이후 지역, 건물, 공장 등 큰 조직에서부터 담당한 공정과 직무에 대한 세부 특성을 차례대로 파악했다(Figure 1). 근로자 개인별 특정 유해인자의 노출수준을 추정할 수 있는 항목은 포함하지 않았다. 이 JSQ는 포괄적 사망 위험, 여러 질병 위험의 원인이 될 수 있는 공정, 직무 등을 찾기 위한 연구에 활용되기 때문이다. 특정 질병의 위험을 규명하고자 할 경우, 이 질병의 원인이 될 수 있는 구체적인 유해인자 노출을 추정할 수 있는 항목을 개발해야 한다.

1) 지역(Area or city)

반도체 공장이 위치한 지역(도시)에 대한 정보

**Figure 1.** Hierarchical structure to classify semiconductor workers based on job and operation history.

다. 한 곳 이상 여러 지역에 동일한 공장을 가동한 경우 구분하는 것이 좋다. “A” 반도체는 6곳의 사업장을 운영하고 있으며, 지역별로 회사 문화, 안전보

건조적 역량, 근로자 인식 등의 차이로 인해 유해인자 노출이나 건강영향의 차이가 있을 수 있기 때문에 지역 구분 항목이 필요하였다.

2) 건물, 공장 등

(1) 건물 구분(Facility)

지역별 고유한 건물 이름을 선택하고 공정과 근무기간을 적도록 했다. 지역별로 각각 10개 그리고 기타 지역은 총 7개로 분류했다. 과거부터 현재까지 가동된 적이 있는 모든 건물의 고유 이름을 모두 보기로 나열했다. 이름이 바뀌거나 없어진 건물 이름도 함께 표시했다. 건물과 함께 웨이퍼 가공(fab 공정), 패키지, 연구소, 기타 등도 함께 선택할 수 있도록 했다. 반도체 공장은 대규모 화학공장이기 때문에 동일한 시기 또는 서로 다른 시기에 여러 건물(또는 공장, 라인 등)에서 동일한 공정들이 가동된다. 건물은 생산 실적, 기술 변화에 따라 확장 또는 통합되거나 건물 이름이 없어지기도 한다. 건물 정보는 공정 및 직무력의 변화와 유해인자 노출수준을 평가하는데 유용한 정보이다. 건물 별로 질병의 유병률, 사망률의 경향도 비교할 수 있다. 건물과 공정이나 직무 등을 조합해서 노출 매트릭스 변수로 활용하면 공정기술 변화에 따른 질병 위험까지 파악할 수 있다.

(2) 웨이퍼 가공과 패키지 공장(Wafer and package manufacturing)

근무기간 중 50%를 기준으로 Fab 공장, 패키지 공장, 사무직을 선택하도록 했다. “A” 반도체 근로자 대부분은 공정 기술과 전문성 때문에 웨이퍼 가공과 패키지 공장 간 이동은 없는 것으로 확인되었기 때문이다. 이 질문을 통해 각 공장에 해당하는 질문만 응답하도록 했다. 공장 별 건강위험 경향을 알아 볼 수 있다.

(3) 공정(Operation)

웨이퍼 가공과 패키지 공장의 공정에 대한 항목이다. 웨이퍼 가공공정은 디퓨전(diffusion), 식각(etching) 등 10개 공정(질문 7), 패키지 공장은 뒷면 가공, 웨이퍼 절단 등 11개 공정(질문 11)을 보기로 들었다. 6개월 이상 근무한 적이 있던 공정과 근무기간을 모두 표시하도록 했다. 공정은 건강 유해요인이 직접 발생하는 정보이기 때문에 질병 발생과 직접적인 연관이 있을 수 있는 중요한 항목이다(Table 2).

(4) 직무(Job)

웨이퍼 가공과 패키지 공장의 공정에서 근로자가 담당한 직무를 파악하는 항목이다. 두 공정에서 통용

Table 2. Classification of operations in semiconductor manufacturing process

| Type of semiconductor process | Type of operation |
|---|---|
| Fab process | Diffusion / Etching / Thin film(CVD, PVD, DCVD) / Photo / Copper / Cleaning & CMP / Probe testing / End-fab / Quality control lab / Others |
| Package process | Back grinding / Sawing / Die attaching / Wire bonding / Molding / Laser marking / Solder ball mounting / Singulation / Testing(TDBI, test, MVP) / Module(chip mount, router, application test) / Others |
| Office or workplace spending less than 50% of time in fab and package process | Office / Fab / Package / Supply of chemicals / Institute / Failure analysis / Chip test / Quality & control / Others |

Note: CVD; chemical vapor deposition, PVD; physical vapor deposition, DCVD; directed chemical vapor deposition, CMP; chemical-mechanical polishing, TDBI; test during burn-in, MVP; marking, visual inspection and packing

Table 3. Classification of jobs in semiconductor manufacturing process

| Type of semiconductor process | Type of job |
|-------------------------------|---|
| Fab process | Operator / Maintenance for operation facility / Maintenance for cleaners such as scrubber / Supervisor / Technician / QC personnel / Others |
| Packaging process | Operator / Maintenance for operation facility / Maintenance for cleaners such as scrubber / Supervisor / Others |

되는 직무 이름은 운전자(오퍼레이터), 제조기술 정비, 설비기술 정비, 테크니션, 감독자 등으로 동일하다. Fab 공정은 7개 직무(질문 9 참조), 패키지 공정은 5개 직무(질문 12 참조)를 보기로 들었다. 직무는 본 연구에서 표준화하였고, 테스트를 통해서 확정했다. 같은 공정에서 일하더라도 담당하는 직무에 따라 노출특성은 크게 다르다. 정비 직무는 운전자나 감독자에 비해 위험이 높은 것은 잘 알려져 있다(Park et al., 2010). 따라서 공정과 함께 직무를 파악하는 것은 노출평가에서 매우 중요하다. 6개월 이상 담당한 직무를 모두 선택하고 근무기간을 적을 수 있도록 했다(Table 3).

(5) 웨이퍼 크기

근로자가 과거와 현재 취급했던 웨이퍼 크기(5인치=125 mm, 6인치=150 mm, 8인치=200 mm, 12인치=300 mm)를 묻는 질문으로 웨이퍼 가공 공정 근로자에게만 해당한다(질문 8). 웨이퍼 크기에 따라 제품 및 화학물질의 수동 취급 빈도와 수준을 추정할 수 있다. 300 mm 웨이퍼 생산은 모두 자동공정으로 운영되기 때문에 근로자가 화학물질과 웨이퍼를 직접 취급하는 빈도는 훨씬 낮다. 그러나 300 mm 이하 웨이퍼 생산에서는 수동 또는 반 자동으로 공정이 진행되기 때문에 근로자(특히 운전자 및 감독자)의 유해인자 노출 위험은 자동화 공정보다는 높은 것으로 추정할 수 있다. 취급한 웨이퍼 크기 정보에 따라 건강영향과의 차이를 비교할 수 있는 항목이다.

(6) 교대근무

현재 운영하고 있는 교대근무 형태는 4조 3교대이지만 과거 근무형태(3조 3교대, 1일 맞교대, 주 야간 맞교대 등)도 파악했다. 교대근무가 유방암, 심혈관계질환 등과 관련이 있다는 것은 잘 알려져 있다. 교대근무 노출 여부, 교대 근무형태에 따른 건강영향의 차이 등을 규명하는 데 활용될 수 있다.

(7) 기타

가스 누출 정보음, 화학물질로 인한 대피, 근접한 공간에서 화학물질 용기 파손 등의 사고로 인한 누출, 평소 말지 못한 가스 등 화학물질 냄새 등에 대한 경험을 정성적으로 파악(주 1-2회/월 1-2회/년 1-2

회/거의 없음)하였다. 이 응답 결과를 공정, 직무 별로 비교하고 필요한 경우 질병의 발생 경향도 볼 수 있다.

IV. 고 찰

본 연구에서는 반도체 공정에서 일하고 있는 근로자의 과거 공정 및 직무 노출을 평가할 수 있는 JSQ를 개발했다. JSQ의 주요 내용은 건물(공장), 공정, 직무 등으로 총 18개 문항으로 구성되어 있다. JSQ 응답 결과를 활용해서 과거에 노출된 혹은 일했던 건물, 공정, 직무 특성과 사망 및 질병 위험을 분석할 수 있다. 직무와 다른 응답 결과를 매트릭스(Job Exposure Matrix, JEM)로 묶어 반도체 공정 근로자 노출을 분류하고 이들 그룹별로 질병과의 관련성을 분석하는 데 직접 활용할 수 있다. 반도체 공장 근로자 과거 노출평가와 역학연구에 활용할 때 아래와 같은 점들을 고려할 필요가 있다.

첫째, 이 JSQ에는 특정 유해인자에 대한 노출을 추정하는 항목을 포함하지 않았다. 만약 특정 질병의 원인인자를 찾는 역학 연구라면 이 질병과 연관이 있는 특정 유해인자 노출과 관련된 항목을 추가로 개발해야 한다. 예를 들면 폐암 역학조사에 필요한 노출평가라면 반도체 공정에서 폐암을 초래할 수 있는 공정과 직무는 물론 유해인자를 선정하고 이에 대한 노출수준(노출빈도, 노출강도, 노출수준 등)을 추정할 수 있는 항목들을 개발해야 한다. 본 JSQ는 공정, 직무 등 직무노출추정은 가능하지만 특정 유해인자의 노출을 평가하는 데는 한계가 있다. 물론 특정 공정의 특성에 근거해서 유해인자 노출가능성과 수준을 추정하는 추가 변수를 생성할 수 있다. 예를 들면 극 저주파에 대한 노출을 기존문헌과 연구자의 경험에 근거해서 노출이 높음(확산, 이온주입, 테스트 등), 중간(다른 공정들), 낮음(사무실) 등으로 구분하여 정성적으로 평가할 수 있다.

둘째, 공장의 특성에 따라 공정과 직무에 대한 설문 전략을 세워야 한다. 반도체 공정은 전문성이 있어 공정 간 이동은 드물지만 유사한 공정들 사이의 이동은 잦은 편이다. 또한 긴급 등으로 운전자나 정비자가 감독이나 반장으로 직무가 변경된 경우는 흔하다. 이러한 변경 정도는 회사에 따라 다를 수 있기

때문에 어떻게 전략을 세우느냐가 중요하다. 본 연구에서는 일정 기간 이상(본 연구에서는 6개월 기준) 근무한 공정과 담당한 모든 직무를 모두 응답하도록 했다. 이 전략은 공정과 직무 변경정보를 모두 파악할 수 있으나 대표 노출 공정과 직무를 결정하기 어려운 점이 있다. 다른 전략은 대표적으로 노출되었다고 판단되는 대표 공정과 직무만을 근로자가 직접 결정하게 하는 것이다. 이 전략은 간단하지만 노출을 대표하는데 오류가 있을 수 있다.

셋째, 본 JSQ 조사는 집단 면접을 통한 조사 설문이어서 해야 한다. 반도체 공장, 공정 등은 매우 복잡하고 다양한 직무이력을 갖고 있기 때문에 집단을 대상으로 충분한 설명을 진행하고 섹션 별로 응답하도록 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 응답이 끝난 후에는 개인별로 모든 설문을 검증해서 일관성, 응답 누락 등을 확인하는 것이 필요하다.

넷째, 협력업체 근로자용 JSQ는 따로 개발해야 한다. 반도체 공장에서 협력업체는 특정 공정이나 직무를 담당한다. 주로 정비, 운송, 세정 등이다. 직무 이동이 흔하지 않지만 근무기간이 길지 않은 경우가 많다. 이러한 특성을 감안해서 본 연구에서 개발한 협력업체용 JSQ에서는 웨이퍼 가공 공장과 패키지 공장을 구분하지 않고 모두 함께 응답하도록 하였다(협력업체용 JSQ는 첨부하지 않음).

본 연구에서 개발한 JSQ에 대한 근로자의 응답결과는 과거 직무 노출정보로 직접 활용할 수 있다. 여러 JSQ 응답결과 등을 조합하여 새로운 직무 노출변수를 생성하여 질병의 원인 또는 연관변수로 분석할 수 있다. 궁극적으로 JSQ 응답결과는 역학연구 대상 근로자를 질병의 원인으로 의심되는 유해요인 노출특성에 따라 분류하는데 쓰인다. 후향적 역학조사에서 질병의

원인 또는 연관변수를 다양하게 검정할 수 있다. JSQ 조사가 적절하게 이루어진다면 반도체 공정 근로자의 과거 직무 노출의 분류오류(misclassification)를 줄이는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

V. 결 론

반도체 웨이퍼 가공 공장 및 패키지 공장 근로자의 공정 및 직무노출을 설문으로 추정할 수 있는 JSQ를 개발했다. 여기에 포함된 주요 내용은 반도체 공장에서 일하기 전과 후로 나누어 공장이 위치한 지역, 공장, 부서, 공정, 직무 등에 대한 노출이다. JSQ 결과는 반도체 공장 근로자의 과거 공정과 직무 노출을 추정하고 사망, 질병의 위험의 원인 또는 연관수준을 규명하는 데 활용될 수 있다.

References

- McElvenny DM, Darnton AJ, Hodgson JT, Clarke SD, Elliott RC, et al. Investigation of cancer incidence and mortality at a Scottish semiconductor manufacturing facility. *Occup Med* 2003;53:419-430.
- Nichols L, Sorahan T. Cancer incidence and cancer mortality in a cohort of UK semiconductor workers, 1970-2002. *Occup Med* 2005;55:625-630.
- Park D, Yang H, Jeong J, Ha K, Choi S, et al. A comprehensive review of arsenic levels in the semiconductor manufacturing industry. *Ann Occup Hyg* 2010;54:869-879.
- Wald PH, Jones JR. Semiconductor Manufacturing - an Introduction to Processes and Hazards. *Am J Ind Med* 1987;11:203-221.