

연구보고서

MRI 기사들의 자기장 노출에 의한 건강영향 실태조사 및 체계적인 모니터링 시스템 구축

송재철 · 박동욱 · 김영서 · 최관우

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



요 약 문

1. 연구제목 : MRI 기사들의 자기장노출에 의한 건강영향 실태조사 및 체계적인 모니터링시스템 구축

2. 사업기간 : 2016. 4. 1 ~ 2016. 10. 31.

3. 참 여 자 : 용역책임자 송 재 철 (한양대학교)

4. 연구 필요성 및 목적

자기장의 강도는 영상의 질 향상에 영향을 미치며 최근 MRI 장비의 자기장 크기가 증가하는 추세이다. 하지만 MRI에서 노출되는 자기장은 지구 전자기장의 수만배에 이르며 이에 따른 위해 가능성이 지속적으로 제기되고 있으며, MRI검사 수행 근로자에 대한 건강영향평가 연구의 필요성이 또한 제기되고 있다. 자기장 구역에서 근무하는 작업종사자의 경우 반복적인 노출로 인한 누적 노출량이 높으며, 고자기장 작업자의 방호 규정/지침이 없어 고자기장 노출 직군에 대한 자기장 노출실태 파악과 건강영향에 대한 실태 파악이 필요한 실정이다.

이에 따라 본 연구에서는 MRI방사선사 등을 대상으로 건강영향조사도구를 개발하고, 추후 심화연구를 통한 직업군의 노출실태와 건강영향 파악과 직업병 예방 및 모니터링 시스템을 구축을 목적으로 시행하고자 한다.

5. 연구내용 및 방법

- 1단계(7-8월) 연구설계 및 조사도구확정
 - 문헌고찰(조사대상 위험요인 및 직업확인, 노출 평가방법 검토, 산재신청사례분석)을 통해 노출-비노출군 연구설계를 확정하고, 전문가자문(비노출군선정전략, 대상자수 선정, 노출평가의 타당도 및 신뢰도평가)을 구하여 조사도구초안을 완성하고 예비조사를 실시한다. (
 - 두 차례의 전문가 자문
- 2단계(9-10월) 노출 및 비노출군 전수조사 수행
 - 조사자교육 및 노출군 및 비노출군에 대한 조사를 실시한다.
- 3단계 보고서 작성
 - 1차 분석
 - 전문가자문 및 추가분석, 추적관찰 대상 구축
 - 최종보고서 작성

6. 연구결과

- 6개 병원별 장비별 위치별(P1, P2, P3, P4)로 측정한 정자기장 발생 분포를 얻었다. 6개 병원별 장비별 위치별로 정자기장 분포 결과를 아래에 나타냈다. 장비별로 MRI강도가 높은(3.0 T)가 높은 정자기장 강도(T)를 보였다. 1.5 T 장비보다 유의하게 높은 강도를 보였다. 위치별로 목과 머리 부분에서 측정한 강도가 가장 높았다.
- 병원별, 장비별, 측정지점별 정자기장 분포를 제시하였다.

- 병원별, 장비별, 측정지점 모두 통합한 정자기장 분포는 큰 차이가 없다. 그러나 이상값이 피크 노출을 3.0 T 장비, P2 지점에서 높은 것으로 나타났다. 개인 정자기장 노출결과를 장비별 측정지점 별로 총화해서 그 분포를 나타내면 3.0 T가 1.5 T 장비보다 모든 측정지점에서 유의하게 높았다. 또 측정지점에서 P2(목과 머리 부분 지점)가 다른 지점들에 비해서 가장 높게 나타났다.
- 설문을 통해 방사선사의 취급 MRI 장비 정자기장 강도와 근무기간을 파악하여 개인별 누적 정자기장의 노출수준을 상대적으로 추정할 수 있다. 방사선사의 과거 정자기장 노출수준을 추정하기 위해서는 역학연구 대상 방사선사를 포함한 직종별로 MRI 장비 강도별 취급 기간, 근무기간, 1일 촬영실에 들어간 횟수 등을 종합해서 누적 노출수준을 추정할 수 있다.
- 설문을 통해 방사선사의 개인적, 직무적 특성, 자기장 노출과 연관된 급성 증상(어지럼증, 피로감, 집중력 감소, 목 통증, 눈 자극)을 파악하였다. 특히 어지럼증은 전정신경계의 손상이나 질병에 대한 평가를 필요로 하는 증상이라는 점에서 중요한 의미를 갖는다. 따라서 자기장 노출 관련 증상에 대해서는 차후 연구결과와의 연계를 통한 해석 및 고찰이 필요하다.
- 설문을 통해 방사선사의 개인적, 직무적 특성을 파악하였다. 또한 자기장 노출과 관련된 증상에 대해서는 차후 연구결과와의 연계를 통한 해석 및 고찰이 필요하다.

7. 활용방안 및 기대성과

- 국내 MRI 관련 근로자(주로 MRI 방사선사)의 자기장 노출 정도 및 이에 따른 건강 영향 실태를 파악한다.
- 자기장 노출과 관련된 근로자의 건강 문제를 추적관찰 할 수 있는 모니터링 시스템을 구축한다.
- 연구결과를 토대로 자기장 노출에 의한 MRI 관련 근로자의 건강 문제에 대한 예방방법을 강구한다.

8. 중심어

MRI 방사선사, 자기공명영상, 정자기장 노출

9. 참고문헌 및 연락처

- [1] McRobbie DW, “Occupational exposure in MRI” , Br J Radiol, 2012, 85:293 - 312.
- [2] Yamaguchi-Sekino S, Sekino M, Ueno S. “Biological effects of electromagnetic fields and recently updated safety guidelines for strong static magnetic fields“, Magn Reson Med Sci, 2011, 10:1 - 10.
- [3] Environmental Health Criteria (2006), Static fields, Geneva: World Health Organization, Monograph, vol. 232.
- [4] Schenck JF “Safety of strong, static magnetic fields”. J Magn Reson Imaging 2000, 12:2-19.

- [5] 반도체 제조 근로자의 극저주파 자기장 노출 평가, 한국산업위생학회지, 제 22권 제1호(2012)22(1): 42-51
- [6] 한국방송통신대학교(2015), 산업보건관리수준 평가 및 개선방안 도출, SK 하이닉스, 2015
- [7] Shenck JF “Health and physiological effects of human exposure to whole-body 4 Tesla magnetic fields during MRI. Ann NY Acad Sci, 1992, 649:285-301.

연구책임자 : 한양대학교 직업환경의학교실, 송재철연락처
: T) 02 - 2220 - 0663, E) js on g @ h an y an g . ac . kr

차례

I. 서론	1
1. 연구 배경 및 필요성	1
2. 연구 목적	3
3. 선행 연구에 대한 고찰	4
II. 연구방법	10
1. 연구내용 및 범위	10
2. 연구방법	13
III. 연구결과	28
1. 연구 결과 및 고찰	28
2. MRI 발생 수준 총괄	52
3. 역학조사 대상자 정자기장 과거 노출 수준 추정	72
4. 설문조사 결과 분석 및 고찰	74
5. 활용방안 및 기대성과	108
IV. 참고문헌	109
V. 부 록	116

표 차 례

<표 1> 조사대상 병원 및 MRI 장비들의 제조 모델, 제조년도, 정자기장 강도 등 기본적인 특성 정리	15
<표 2> THM-1176 측정 조건	16
<표 3> 웨이퍼 가공 공정의 직군 및 공정별 자기장 개인노출 평가 결과 · 31	
<표 4> 패키지 공장 자기장 개인 노출 수준 요약	32
<표 5> 반도체 웨이퍼 가공 공정별 직무별 자기장 노출 수준	34
<표 6> 전기취급 근로자 직무별 자기장 노출수준	35
<표 7> 그리스 3개 발전소에서 모니터링한 자기장 결과	36
<표 8> 병원 치과 종사자의 자기장 노출 수준	38
<표 9> 계산기 종사자 근처 자기장 수준	39
<표 10> 전자파의 암에 대한 노출 오즈비	40
<표 11> MRI 촬영기기 주변의 정자기장 측정결과	42
<표 12> MRI 방사선사의 작업 위치별	43
<표 13> 병원별, MRI 장비별 자기장 발생수준	52
<표 14> 병원 및 MRI 장비 모델, 위치별 정자기장 발생 수준	54
<표 15> MRI 병원별 정자기장 발생수준	55
<표 16> MRI 제조사별 정자기장 발생수준	58
<표 17> MRI 장비 모델별 정자기장 발생수준	59
<표 18> MRI 장비의 정자기장 강도별 장비 제조사별, 모델별 정자기장 발생수준	62
<표 19> MRI 장비 정자기장 강도별 제조년도별 정자기장 발생수준 ..	63
<표 20> MRI 장비의 정자기장 강도별 위치별 시뮬레이션 정자기장 발생수준	65

<표 21> MRI 장비별 위치별 시뮬레이션 정자기장 발생수준	67
<표 22> 설문참여자의 일반적 특성	76
<표 23> 설문참여자의 근무 전후 증상변화 (1회차)	79
<표 24> 설문참여자의 근무 전후 증상변화 (2회차)	80
<표 25> 설문참여자의 근무 전후 증상변화 (3회차)	81
<표 26> 근무형태별 설문참여자의 일반적 특성	83
<표 27> 근무시간대별 설문참여자의 업무관련 특성	85
<표 28> 근무시간대별 설문참여자의 근무 전후 증상변화	87
<표 29> 자기장 노출군과 비노출군의 일반적 특성 (1회차)	96
<표 30> 노출군의 정자기장 급성 노출량 (1회차)	97
<표 31> 자기장 노출군과 비노출군의 근무 전후 증상 변화 (1회차) ·	98
<표 32> 자기장 노출군과 비노출군의 근무 전후 증상 변화에 대한 로 지스틱 회귀분석(1회차)	99
<표 33> 자기장 노출군과 비노출군의 일반적 특성 (2회차 설문) ····	100
<표 34> 노출군의 정자기장 급성 노출량 (2회차)	101
<표 35> 자기장 노출군과 비노출군의 근무 전후 증상 변화 (2회차) ·	102
<표 36> 자기장 노출군과 비노출군의 근무 전후 증상 변화에 대한 로 지스틱 회귀분석(2회차)	103
<표 37> 자기장 노출군과 비노출군의 일반적 특성 (3회차 설문) ····	104
<표 38> 노출군의 정자기장 급성 노출량 (3회차)	105
<표 39> 자기장 노출군과 비노출군의 근무 전후 증상 변화 (3회차) ·	106
<표 40> 자기장 노출군과 비노출군의 근무 전후 증상 변화에 대한 로 지스틱 회귀분석(3회차)	107
<표 41> MRI 촬영기기별 Pulse Sequence별 소음 측정결과	121
<표 42> MRI 촬영기기별 주파수별 소음 측정결과	121

그 림 차 례

[그림 1] THM-1176 장비	17
[그림 2] Static Field from product data sheet 3.0T Philips	18
[그림 3] Neck-coil의 설치 모습	19
[그림 4] Head-coil의 설치 모습	19
[그림 5] MRI 방사선사들의 THM-1176을 이용한 정자기장 모니터링 모습	20
[그림 6] MRI 장비에서 개인 노출과 관련된 주요 측정위치	21
[그림 7] 방사선사의 과거 정자기장 누적 노출 추정과정	24
[그림 8] 자기장 시간별 노출수준	30
[그림 9] 그리스 3개 발전소에서 측정한 즉 저주파 수준의 누적 분포 ·	37
[그림 10] MRI 촬영기기 표면 중 세부 측정위치	43
[그림 11] 병원별, MRI 장비별 자기장 발생 수준	53
[그림 12] 병원별 MRI 정자기장 노출 수준	56
[그림 13] 제조사별 MRI 정자기장 발생수준	58
[그림 14] MRI 장비 모델별 정자기장 발생수준	60
[그림 15] MRI 장비의 정자기장 강도별 모델별 정자기장 수준	61
[그림 16] MRI 장비 정자기장 강도별 제조년도별 정자기장 발생 수준	64
[그림 17] 장비 정자기장 강도별(T) 정자기장 수준 분포	68
[그림 18] 장비 측정위치별(P1, P2, P3, P4) 정자기장 수준 분포	69
[그림 19] 장비 정자기장 강도별 위치별 정자기장 강도 분포	70
[그림 20] Maximum, minimum and mean value of signal along samples	119
[그림 21] Error bar of mean and standard deviation along samples ·	120

[그림 22] MRI noise in time domain	120
[그림 23] MRI noise in frequency domain	120

I. 서론

1. 연구 배경 및 필요성

○ 자기 공명 영상(Magnetic Resonance Image)은 자기장이 발생하는 자석 안에 고주파를 인가하여 수소 원자핵을 공명시킨 후 나오는 신호를 재구성하는 영상[1]으로, 1980년대 이후 질병의 진단에 도입되었으며, 이로 인해 자연 상태와 비교하여 상대적으로 아주 강한 전자기장(Electromagnetic field)에 노출 기회가 발생하였다.

- 현재 임상에서 주로 사용되고 있는 MRI 장비의 전자기장 크기는 일반적으로 1.5T~3T로 자연적으로 노출되는 지구 전자기장(중위도에서 약 45~50 μ T)의 수 만 배 이상에 해당하는 값을 보인다.

- 자기장의 강도가 영상의 질 향상에 영향이 크기 때문에 고해상도의 영상을 얻기 위해 최신 MRI 장비들의 정자기장(static magnetic field)의 크기는 더욱 강해지고 있는 추세(7~8T 이상, 연구용으로는 9~10T까지 나와 있다)이다[2].

○ 과거 MRI에서 노출되는 자기장의 경우 안전한 것으로 인식되어 왔으나 최근 전자기장의 위해 가능성이 제기됨에 따라서 MRI 검사 시행 시 노출되는 자기장의 건강영향에 대한 연구의 필요성이 제기되었다[3].

- 강한 자기장속에서 인체의 안전에 관한 연구들은 대부분 검사를 받는 피검자의 몸 안에 설치된 금속물질(biomedical implant)나 질병의 조절을 위해 설치한 의료장치(medical device)의 안전성 여부에 집중되어 있으며 또한 대부분이 일시적으로 고도로 노출되는 피검자를 대상으로 하고 있다.

- 자기장 구역에서 근무하는 작업 종사자들의 경우 반복적인 노출로 인해 누적 노출량의 경우 일반인에 비해 수 백 ~ 수 천 배 높으나 이에 대한 연구는 거의 전무한 실정이며, 고자기장하에서의 작업 시 방호에 관한 규정이나 지침 또한 마련되어 있지 않다.

- 2000년 이후 MRI 장치의 보급은 매우 빠른 속도로 증가하고 있으며 장비의 자기장 세기 역시 지속적으로 증가하는 추세로 3.0T 이상의 고자기장을 사용하는 장치가 점차 늘어나고 있다.

- 현재 국내 의료기관에서 질병 치료 및 예방을 위해 사용하는 MRI를 포함한 의료진단 장비를 사용하는 직무에서 전자기장 노출 수준은 물론 건강영향에 대한 보고나 연구는 거의 없는 상태이다.

- 사전 예방 차원(precautionary principle)에서 MRI 관련 근무자들의 직업적 노출에 대한 건강영향 실태 조사와 체계적인 모니터링이 필요할 것으로 판단한다.

○ MRI 국내 설치 현황

- 전국 병,의원에 1,325대가 가동 중(2014년 기준)
- 2011년 1,062대, 2012년 1,173대, 2013년 1,228대로 매년 높은 비율로 증가
- 인구 100만명 당 MRI 장치대수에서도 우리나라는 24.5대로 OECD 평균 14.3대를 상회하며, 앞으로도 증가추세를 보일 것으로 예상된다.

○ MRI 장치의 법적 현황 및 관련 종사자

- MRI 장치는 의료법에서 특수의료장비로 분류하고 있으며, 한국의료영상품질관리원에 위탁하여 관리를 하고 있다.

- 인력 및 장비유지보수를 위하여 매년 서류검사와 3년에 한번 정밀검사를 시행하며, 장비 1대당 의무적으로 영상의학과 전문의 1인과 방사선사 1인을 장비관리자로 지정하게 되어 있다.

- 그러나 법적 가이드에서는 고품질의 영상을 획득하기 위한 장치의 유지 보수에 관련된 사항만 마련되어 있을 뿐, 고 자기장의 노출에 관련된 작업종사자의 보호대책에 대해서는 전무하다.

- 고 자기장에 노출되는 직군은 해당 검사업무를 하는 방사선사와 간호사 그리고 장치를 유지 보수하는 엔지니어 등이 있다.

- 그 대부분이 MRI방사선사이며 2014년 기준으로 약 3,000명으로 추정되고 6개월 이상 2년 미만의 일정 기간 근무자는 20,000명 이상일 것으로 예측한다.

- 국내에서는 아직 MRI를 직접 또는 간접적으로 사용하거나 노출되는 직종 종사자의 정자기장 노출수준이나 건강영향을 평가한 연구는 없으며 해외에서도 일부에 불과하다. MRI 장비를 직접 다루거나 취급하는 종사자는 물론 낮은 빈도로 촬영실을 출입하는 의료종사자들에 대한 정자기장 노출에 대한 체계적인 노출평가는 물론 건강영향을 평가하기 위한 예방적 역학조사가 필요하다.

2. 연구 목적

본 연구 목적은 다음과 같다.

- 첫째, MRI 근무자들의 고 자기장 노출에 따른 건강 영향에 관련된 문헌을 검토하여 노출력 파악을 위한 조사 도구를 개발하며,

- 둘째, 역학 조사를 통해 MRI 관련 업무 종사자들의 누적 노출량의 실태와 건강 영향을 파악하고,

- 셋째, MRI 관련 근로자들의 자기장 노출로 인한 직업병의 발생을 예방하고 모니터링하는 체계적인 시스템을 구축한다.

3. 선행 연구에 대한 고찰

○ 세계보건기구(WHO)의 국제 EMF 프로젝트(International EMF Project)에서는 2006년 고강도 정전기장 및 정자기장 노출이 건강에 미치는 영향을 검토하였으며, 의료진과 환자(특히 어린이와 임산부) 및 고강도 정자기장을 발생시키는 자석 제조업에 종사하는 직업인(workers)에 대한 공중보건의 중요성을 강하게 지적하였다[4].

○ 그러나 현재까지 잘 수행된 역학조사 또는 장기적의 동물 실험이 없기 때문에 mT 범위에서의 노출에 대한 장기적인 건강 영향이 있는지, 없는지에 대한 결정을 내리는 것은 불가능한 상황이며, 따라서 현재로서는 정자기장의 인체에 대한 발암성에 대해서는 등급을 분류할 수 없다고 결론내렸다[5].

○ 정자기장 노출의 국제 기준치는 국제비전리복사방호위원회(ICNIRP)에 의해 검토되었으며[6], 직업적 노출의 경우 현재의 제한값은 정자기장 내에서의 움직임에 의해 유발되는 현기증과 구토 증세를 피하도록 하는 것으로 결정되었다.

○ 권고 제한값은 직업적 노출의 경우 근무일 동안에 시간가중 평균값(Time-weighted Average Value)으로 200mT이며 2T를 상한값으로 하고 있고, 일반인의 경우 연속노출의 제한값은 40mT이다[6].

○ 미국 FDA는 정자기장이 8.0T인 경우에도 “환자에게 심각한 위험은 없다(Non significant risk for patients)”라고 밝혔으나 8.0T 이상의 자기

장에서 환자를 대상으로 연구하고자 하는 경우에는 허가를 얻도록 권고하고 있다[7].

○ Schenck등[8]은 자기장 노출의 생물학적 효과는 광범위하다고 하였으며, 세포의 성장, 형태학, 세포재생, 최기성, DNA구조, 유전자 발현, 출생 후의 복제 및 발달, BBB의 Permeability, 신경활동, 인간기능 및 행동, 심혈관 역학, 혈액 지수, 체열 순환, 생물학적 주기, 면역 반응 및 다른 생물학적 정보 등 광범위 하게 영향을 준다는 것이다.

○ Bongers S등[9]은 정자기장에의 장기간의 노출과 건강 영향에 대한 연구를 발표하였는데, 이는 네덜란드의 MRI 기기를 생산하는 플랜트에서 1984년부터 2010년까지 최소 1년 이상 근무한 근로자들을 대상으로 한 네덜란드의 코호트연구로, 직무기록을 토대로 한 Job-SMF 노출매트릭스를 통해 정자기장 노출을 Tesla-minute 단위로 평가하였으며, 노출의 중앙값을 기준으로 하였을 때 노출이 많은 집단을 High cumulative exposure group로 정의하였다. 고혈압의 발병(Development of hypertension)의 오즈비는 Non-exposed non-volunteering employees에 비해 High cumulative exposure employees가 높게 나타났다(OR = 2.24, 95% CI: 1.25 - 4.00). 다만 Volunteer를 대상으로 하였을 때에는 반대의 결과가 나타나(OR = 0.57, 95% CI: 0.37 - 0.90) 이 연구결과는 제한적인 의미를 갖는다고 할 수 있다. 이러한 한계점에도 불구하고, 이 연구는 정자기장의 노출기간과 고혈압의 발병과의 연관성을 밝히기 위해 노력한 첫 시도라는 의미를 가지고, 이와 관련된 추가적인 연구의 필요성을 제시하고 있다.

○ 같은 코호트 연구를 통해서 정자기장의 최근 노출(High recent SMF exposure)은 사고로 이어질 수 있는 위험 증가와 관련이 있다는 결과가 발표되

었다(교차비(OR) 4.16)[10]. 의사의 치료를 받은 부상의 위험은 정자기장의 최근 노출인 경우에 교차비가 5.78, 정자기장의 노출 경력이 있는 경우(career SMF exposure)에 교차비가 2.79로 나타났다. 또한 통근 중 사고 발생 위험도 증가했다(위험비 Hazard ratio 2.49). 정자기장 노출이 어떤 기전을 통해 사고 발생의 위험을 높이는지에 대한 추가적 연구가 필요하다.

○ Mousavidoust S.등[11]은 분자 수준에서 튜블린(tubulin, 세포골격을 구성하는 미세소관을 만드는 기초 단위의 단백질)의 구조, 배열 및 중합에 대한 시공간적 상태에 미치는 정자기장의 영향에 대한 연구결과를 발표했다. 튜블린의 고유 형광 강도(intrinsic fluorescence intensity)는 정자기장에 의해 증가되어 트립토판과 티로신 잔기의 재배치를 나타낸다. 중합의 속도와 정도(rate and extent of polymerization)는 100mT와 300mT의 환경에서 각각 9.8%와 33.8% 증가했지만 200mT에서 36.16% 감소했다. 중합 튜블린(polymerized tubulin)의 전도도는 100mT 및 300mT의 정자기장 존재 하에서 증가 하였지만 200mT에서는 대조군과 동일하게 유지되었다. 이러한 결과는 세포단위에서의 정자기장의 영향, 즉 튜블린 조립(tubulin assembly)과 미세소관(microtubulin)에 대한 정자기장의 구조적 및 기능적 영향을 보여준다.

○ Albuquerque WW 등[12]은 정자기장의 세포단위에서의 영향에 대한 리뷰 문헌을 발표하였는데, 다양한 연구결과들을 소개하고 있다. 특히 정자기장의 강도(SMF intensity)가 유전자의 발현(gene expression)에 영향을 줄 수 있는데, 예를 들면, Sakurai 등(2008)는 유명한 전사인자(transcription factor)인 NF- κ B의 전좌(translocation)가 10T 정자기장에 노출되었을 때는 특별한 영향이 없는 것과는 대조적으로 6T의 정자기장에서만 증가한다는 것을 발견했다. 또 Tenuzzo 등(2009)은 유전자에 따라 같은 정자기장 노출에 다르게 반응할 수 있음을 발견했는데, 특히 6mT의 정자기장에 노출될 때, p53과 bax 유전자

는 활성화되는 반면, hsp70과 bc-2 유전자는 억제되었다. 또 Jouni 등 (2014)은 Oct-4, Nanog 및 C-Myc의 발현 감소와 Fragilis, Mvh 및 Stella 유전자의 발현을 활성을 유도하는 것은 4mT의 정자기장(24-48h) 노출이 중요하다는 것을 확인했다. 이러한 연구결과는 정자기장의 강도가 유전자의 발현에 영향을 주어 결과적으로 질병을 발생에 영향을 줄 수 있다는 가설을 세울수 있는 이론적 근거를 제시한다.

○ Elferchichi M. 등[13]은 동물실험(쥐)의 결과, 정자기장에 대한 아급성 노출(subacute exposure)이 가성빈혈(pseudoanemia) 상태를 유발할 수 있다는 가능성을 제시하였다. 128mT의 정자기장에 매일 1시간씩 연속 15일간 노출된 수컷 쥐는 대조군에 비해 적혈구수(RBC count), 헤모글로빈(Hb) 및 헤마토크릿(Hct) 값이 유의하게 감소했다($p < 0.05$). 또한 트랜스페린(transferrin) 양의 증가량에 대한 혈장 철분(plasma iron) 농도의 감소가 관찰되었다($p < 0.05$). 식후에 정자기장에 노출된 쥐들은 더 높은 혈장 젖산 수치를 보였다($p < 0.01$). 또한, 정자기장 노출은 모노카르복실레이트 수송체4(MCT4)와 글루코스 수송체4(Glut4)의 함량을 증가시켰다($p < 0.05$). 이러한 연구 결과는 정자기장에의 노출이 가성빈혈(pseudoanemia) 상태를 유발함을 시사하는데, 이는 산소의 조직 전달을 감소시켜 조직 저산소증을 유발하는 것으로 추정된다. 이 결과를 인간에게 적용하기에는 분명한 제한점이 있지만, 동시에 연구의 필요성을 제시하고, 더 나아가 정자기장의 노출 한도의 설정에도 중요한 근거가 될 수 있겠다.

○ 또하나의 동물실험(쥐)을 통해, Gungor HR 등[14]은 정자기장에 대한 만성 노출(chronic exposure)이 뼈의 미세구조에 영향을 미칠 수 있다는 점을 제시하고 있다. 6마리의 수컷 쥐(노출군)를 8주간 매일 야간시간동안 1.5T MRI 기계의 자석 보어의 50 센티미터 내에 위치하였다. 노출군의 평균 비타민D 수치는 대조군(및 비노출군)에 비해 낮았다($p=0.002$). 또한 뼈의 평균 피질 두께

(mean cortical thickness), 평균 섬유주 벽 두께(mean trabecular wall thickness), 뼈 1mm²당 섬유주 수는 노출군에서 유의하게 낮았다($p=0.003$). TUNEL assay를 시행한 결과 노출군에서 골세포의 세포사멸(apoptosis of osteocyte)이 다른 군에 비해 유의하게 높았다 ($p=0.005$). 정자기장에의 만성 노출 효과는 자기장 내에서의 움직임과 관련이 있는데, 이는 조직 내에서 저주파장(low-frequency field)의 유도 현상 때문이다. 결과적으로 정자기장의 만성 노출이 뼈의 미세구조와 및 비타민D 대사를 악화시킬 수 있음을 제시하고 있다. 위 연구와 마찬가지로 이 결과를 인간에게 적용하기에는 분명한 제한점이 있지만, 동시에 연구의 필요성을 제시하고, 더 나아가 정자기장의 노출 한도의 설정에도 중요한 근거가 될 수 있겠다.

○ Aguila J. 등[15]은 감각 지각(sensory perception)에 대한 정자기장의 영향에 대한 유일한 연구결과를 발표하였는데, 동물실험(원숭이와 고양이)을 통해, 중등도 강도(moderate intensity, 1mT to 1T) 의 정자기장에 지속적으로 노출되면 신경 활동성(neuronal activity)에 큰 영향을 주며, 세포 반응의 감소로 인해 가역성 피질 암점(reversible cortical scotoma)을 유발할 수 있음(최대 1 시간 이상의 회복시간이 소요되기도 하였다)을 제시하였다.

많은 연구에서 정자기장의 신경계 영향을 밝히는데 실패했지만 (Gaffey and Tenforde 1983; Hong et al., 1986; Hong 1987), 0.12T의 정자기장만으로 시상(thalamus)의 전기적 자극 후에 (V1에서 기록된) 유발 전위가 감소하거나(Rosen and Lubowsky 1987, 1990) 신경근 접합부(neuromuscular junction)에서 아세틸콜린의 방출을 감소시킬 수 있다(Rosen 1992)는 연구결과들도 있다. 이 연구들이 MRI 장비에 사용된 것과 같은 비초점 자기장(nonfocal magnetic field)을 사용한 것은, 정자기장의 신경계 영향의 근거를 보다 더 뒷받침하지만, 이러한 연구 결과들을 설명할 수 있는 메커니즘에 대한 연구는 충분하지 않다.

○ 그러나 기존 연구들은 환자나 상시출입자 등 상대적으로 고자기장에 노출력이 적은 대상들의 자기장 노출에 대한 연구가 대부분이었으며, 현재까지 알려진 바로는 MRI 장비의 고자기장 구역에서 근무하는 작업종사자들에 관한 만성 노출에 관해서는 유해하다는 근거도 충분하지 않지만, 반대로 안전성 입증할 수 있는 근거 또한 부족하다.

II. 연구방법

1. 연구내용 및 범위

- 국내 및 해외 자기장 노출 업종 실태
 - 전기를 사용하는 업종의 직무 근로자에게서 보고된 자기장 노출 및 발생 수준을 정리하였다.
- MRI 관련 업무 종사자들의 누적 노출량의 실태 파악
 - 노출 수준 평가결과와 설문을 통한 노출 빈도 결과를 바탕으로 누적 노출량을 추정할 수 있다.
- 방사선사의 총 업무 중 MRI 촬영에 할애하는 시간과 경력 등을 파악하여 CT, X-ray 촬영으로 인한 방사선 노출 영향과 구분하여 MRI 촬영으로 인한 건강 영향 파악
 - 연구 대상이 되는 MRI 방사선사 또는 노출 종사자를 대상으로 자기장에 대한 노출 수준을 정성적으로 평가하여 노출 분류를 하며 아래와 같은 조건을 참조한다.
 - ▷ 근무 기간
 - ▷ 노출 수준(직접 노출 또는 간접 노출)
 - ▷ 현재 노출 수준
 - ▷ MRI 취급 빈도 및 시간
 - ▷ MRI 기기 특성(제조년도, 제조사, 촬영 부위 등)에 따른 발생 수준

▷ 기타 현장 조사 체크리스트 및 설문 응답 등

- 연구대상자별 노출 분류에 의한 평가결과와 건강영향 정도를 후향적으로 분석하여 자기장 노출의 건강영향에 대한 관련 정도를 규명하고자 하며 과거 노출은 건강 영향을 모르는 상태에서 평가하였다.

○ MRI 촬영 근무 등에서 노출될 수 있는 정자기장(static magnetic field), 경사자기장(Gradient magnetic field), RF 펄스 및 소음과 관련한 개별 및 복합적 건강 영향의 파악

- MRI의 안전성과 관련된 요소는 크게 정자기장(Static magnetic field)과 경사자기장(Gradient magnetic field), 그리고 고주파영역(Radio frequency field)의 세부분으로 나눌 수 있다.

- MRI 관련 작업 종사자들은 원칙적으로 검사를 하는 중에는 차폐가 된 공간에 위치하기 때문에 경사자기장과 고주파영역에 대해서는 노출 가능성이 매우 적으나 정자기장에는 상시 노출되어 있는데, MRI 장치에 이용되는 초전도 자석은 장치를 설치하여 폐기 될 때까지 자성이 유지되고 있기 때문이다.

○ 임신부 등 건강 주의 계층의 MRI 자기장 노출 관련 업무 적합성 평가 파악

- 장기과제에서 파악이 가능하기 때문에 금년에는 문헌 고찰을 통한 업무 적합성 판단 기준을 제시하고, 대상 코호트를 확보하며, 장기 과제에서 우리나라 대상자들의 영향 정도를 추적 관찰한다.

○ MRI 관련 업무 종사자들의 걱정 업무 노출량 가이드라인 구축 및 건강 영향 모니터링 구축을 위한 방안 모색

- 모바일 웹사이트를 이용한 개별 증상 보고 시스템을 구축한다.

- MRI 방사선사들간의 정보 교환 네트워크 구축한다.
- 기존 연구결과 및 추가 연구 결과를 바탕으로 가이드라인 제시한다.

○ 해외의 전자기장 노출 근로자 보호를 위한 사례 파악

- WHO는 국제기구의 기준을 적용하는 것을 권고하고 있으며, 각국은 IEEE, ICNIRP 기준의 수용여부를 자율적으로 결정하고 있다.
- (전자파흡수율) 한국, 미국, 캐나다, 볼리비아, 이란, 베트남은 IEEE의 1.6 W/kg(1g 평균) 기준을 채택하였고, 유럽, 일본 등 대부분의 국가는 ICNIRP의 2.0 W/kg(10g 평균) 기준을 채택하고 있다.
- 주요국의 전자파 인체보호 규제 동향
 - ▷ (미국) 미연방통신위원회(FCC), 인체보호기준 초과지역의 민간인 출입통제 의무화('96년), 전자파흡수율기준을 초과하는 휴대용 통신기기의 유통금지('97년)
 - ▷ (일본) 총무성, 인체보호기준 초과지역은 민간인 출입제한시설 설치 의무화('97년), 전자파흡수율기준을 초과하는 휴대전화 유통금지('02년)
 - ▷ (이탈리아) 전자파 민감지역(어린이 놀이터, 학교, 주거지역, 인구밀집 지역) 등에 설치되는 무선국의 전자파 방출세기(전자파강도)의 한계를 ICNIRP 기준 대비 약 1/10 낮은 한계값으로 설정
 - ▷ (스웨덴) 기본적으로는 ICNIRP 기준 준용, 전문직 조합(TCO)은 전문직 종사자대상 컴퓨터 및 모니터의 전자파 방사 기준 별도 규정(전계강도 1/80, 자계강도 1/300)
 - ▷ (프랑스) 파리 지방의회, 아파트·사무실 등 폐쇄된 내부 공간내의 전자파 인체보호기준은 외부에 비해 1/10로 낮은 한계값 설정

2. 연구방법

1) 정자기장 모니터링

○ 국내 의료기관의 MRI 관련 근무자 자료 검토 및 실제 노출량 측정

- 방사선사는 전리 및 비전리 방사선을 이용한 의료영상장비를 취급, 관리한다. 즉, MRI 장치 외에도 CT, X-ray, 초음파 등 여러 의료영상장비를 취급하고 있다. 따라서 대부분의 의료기관에서는 방사선사들의 순환근무가 이루어지고 있으며, 이로 인해 국내에 등록되어있는 20,502명(통계청, 2016년) 중 고자기장 구역에서 MRI 촬영업무에 종사하는 방사선사의 수는 정확히 파악되어 있지 않다.

- 위와 같이 순환근무가 시행되고 있는 방사선사 중 MRI 촬영업무에 종사하는 방사선사의 정확한 실태파악을 위해 본 연구에서는 특수의료장비에 등록된 MRI 장치를 기준으로 하였다. 특수의료장비란 특수한 의료기기의 관리 및 유지보수를 국가가 위탁기관 지정하여 관리하는 장비로, MRI 장치의 경우 2014년 국내에 1,325대가 등록되어 가동 중이다. 따라서, 장치 당 최소 2명의 방사선사가 근무를 하고 있으므로, 본 연구의 연구대상인 고자기장 구역에서 MRI 촬영업무에 종사하는 방사선사는 최소 2,600명이상으로 추정할 수 있다.

- 따라서 본 연구에서 노출군은 현재 MRI 촬영실에 근무하면서 일일 최소 8시간 이상, 월 20일 이상, 연간 250일 이상을 근무하는 모든 방사선사를 대상으로 하였으며, 비노출군은 현재 방사선사로 재직 중이지만, MRI 촬영실에 근무하지 않는 CT, X-ray 등 전리방사선 진단장치 관련 업무를 담당하는 방사선사와, 초음파 등 비전리방사선 진단장치 관련 업무를 담당하는 방사선사로 하였다.

- 연구의 정확성을 위해, 비노출군 중 과거에 순환근무로 인해 MRI 촬영실에 종사한 경력이 있는 방사선사를 파악하였으며, 등록 및 등록되지 않은 노출

군과 비노출군의 전수조사를 위해 사단법인 대한방사선사협회와 대한자기공명 기술학회의 정식협조를 받아 연구를 진행하였다.

(1) 정자기장 모니터링 대상

○ 본 연구에서 측정한 MRI 장비들은 아래와 같은 기준으로 선정하였다. 모든 MRI 장비 특성을 고려할 수는 없었고 의료인의 정자기장 노출에 유의하게 영향을 미칠 것으로 생각되는 요인만을 고려하였다. 병원규모, MRI 장비 정자기장 강도(Unit), 제조시기, 모델 등을 고려하였다. 본 연구는 과거 정자기장 노출을 추정하는 것이다. 따라서 의료인이 과거에 주로 사용되었던 MRI장비 모델이 포함되도록 대상을 선정하였다. 연구 대상 MRI 장비 주요 선정조건은 아래와 같다(표 1).

- 병원 : MRI 장비 가동률이 높은 대형병원을 우선적으로 선정하였다. 총 6개소이다. 병상 규모 등이 가능하면 다양하게 포함되도록 하여 병원으로 인한 MRI 발생수준의 차이를 알아볼 수 있도록 하였다.

- MRI 모델 : 국내에서 사용 중인 모델이 모두 포함되도록 하였다. 총 14개 모델을 조사하였다.

- MRI 장비 정자기장 강도 : 국내에서 사용되었던 MRI 정자기장 강도가 포함되도록 하였다. 국내에서 주로 사용되었다고 확인한 1.5 T와 3 T 장비들을 선정하였다. 1.5~3 T의 자기장 수준의 장비들은 국내 및 국외에서도 주력으로 사용되는 장비이다[16]. 이 정자기장 강도 이하(0.3~1 T)의 MRI 장비들은 점차 가동이 중단되고 있다. 3 T보다 높은 7 T 수준의 장비들은 주로 동물실험 등 일부에서 사용되고 있지만 병원에서는 사용하지 않는 것으로 알려져 있어 제외

하였다. 본 연구대상 MRI 장비는 1.5 T와 3.0 T였다.

<표 1> 조사대상 병원 및 MRI 장비들의 제조 모델, 제조년도, 정자기장 강도 등 기본적인 특성 정리

병원명	위치	병상규모	제조사	모델	제조년도	정자기장 강도(T)
아산병원	서울	2,700	SIMENS	Avanto	2006	1.5
			SIMENS	Skyra	2011	3.0
			Philips	Achieva	2008	1.5
			Philips	Ingenia	2012	3.0
			Philips	Ingenia_cx	2012	3.0
			Philips	Achieva	2004	3.0
현대유비스병원	인천	450	SIMENS	Essenza	2009	1.5
인하대병원	인천	900	GE	Infinity	2006	1.5
			GE	Sigma HDx	2010	1.5
			GE	Discovery	2012	1.5
나은병원	인천	400	Philips	Intera	2008	1.5
			SIMENS	SONATA	2003	1.5
나사렛국제병원	인천	400	Hitachi	ECHELON	2009	1.5
가천대길병원	인천	1,700	SIMENS	Verio	2008	3.0

참고

국내에서 가동 중인 MRI 장비들은 0.3~7 T 정도로 매우 다양하지만 현재 병원에서 사용하는 정자기장 강도는 1.5 T와 3 T인 것으로 알려져 있다. 사용 중인 MRI 장비 수는 1,500여대 정도로 보고된 바 있다. MRI를 직접 가동하는 방사선사는 약 3,000명으로 추정하고 있다.

(2) 정자기장 모니터링 방법

○ 정자기장 모니터링 장비

- 정자기장 측정 기기 모델은 THM-1176(Narda-STS, Germany)이다. 이 장비를 이용하여MRI 촬영실 안에서 실시간으로 정자기장 발생수준을 모니터링하였다. MRI 방사선사들의 가슴 위치에 부착하고 이들의 실제 근무 상황과 동일한 활동을 요구하고 이 활동별로 정자기장을 모니터링하였다.

- 정자기장 모니터링 결과는 THM-1176 software를 PDA 및 PC에 설치하여 분석하였다. 모니터링 주기는 1초에 20회 간격으로 모니터링 하도록 설정하였고 구체적인 장비 설정조건은 표 2 에 나타냈다.

<표 2> THM-1176 측정 조건

모니터링 항목	내용/조건 등
Frequency range	DC ~ 1kHz
Measurement rate	20회 / 1초
Measurement range	0 ~ 3 T
Resolution	Resultant $\pm$ 1%
Sensor type	Isotropy
Operating temperature	0~40℃
Specification	Sensor (113×16×10mm / 150g / 3m 선)
Calibration	2014. 10. 21



[그림 1] THM-1176 장비

○ 모니터링 방법

- MRI 촬영실에는 장비 주변 거리에 따라 항상 일정한 정자기장이 발생한다(그림 2). MRI 장비 모델 및 정자기장 강도 별로 정자기장의 발생수준이 다르다. 장비주변으로 공간, 위치 등 3차원으로 발생수준이 달라진다. 방사선사 등 의료인, 환자 등이 MRI 촬영실에 들어가면 정자기장에 노출된다.

- 사람이 방을 들어간 횟수, 정자기장이 다르게 발생하는 공간과 지역 등에 머무는 시간에 따라 정자기장 노출을 결정한다. 방사선사는 보통 하루 5~6명의 환자를 대상으로 MRI장비를 가동하여 촬영하였다. 1명 당 대략 1시간 정도의 시간이 걸린다. 환자를 촬영실 안으로 데리고 들어가고 촬영을 준비하기 위해서는 아래와 같은 활동을 하였다.

- MRI 촬영 준비

▷ 환자의 촬영 부위에 따른 코일(Coil)을 설치하였다: 30여초(침대의 목과 허리 부분에 코일을 감, 그림 3과 4 참조)

▷ 방사선사 촬영실 나옴: 5여초

- MRI 촬영

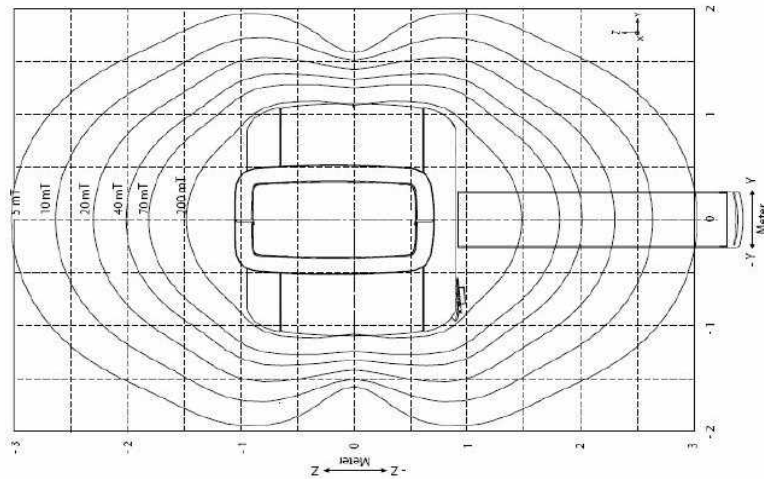
- ▷ 환자를 촬영실(Scanner room)로 데리고 들어감: 10여초
- ▷ 환자를 MRI 침대에 눕히고 촬영을 위한 셋팅: 30여초. 환자의 질환에 따라 걸리는 시간이 다르고 노출도 다르다.

- 방사선사 촬영실 나옴: 5여초

- 촬영 후 인솔

- ▷ 환자를 촬영실에서 인솔하여 나옴: 10여초

○ 참고



[그림 2] Static Field from product data sheet 3.0T Philips

그림 2는 Philips의 Achieva 3.0T MRI 촬영실안에서 장비 주변으로 정자기장의 발생 수준을 3차원으로 나타낸 것이다. 일정 수준의 정자기장이 MRI 장비 주변 3차원으로 발생되고 있다. 방사선사가 MRI 촬영실에 들어가서 공간별, 지역별로 활동하는 시간과 빈도 등에 따라 방사선사의 정자기장 노출을 결정한다.



[그림 3] Neck-coil의 설치 모습



[그림 4] Head-coil의 설치 모습

- 본 연구에서 개략적으로 측정한 방사선사가 환자를 1회 MRI촬영하는데 걸렸던 시간은 평균 1.40분(1.22~1.65분) 정도 되었다(14개 MRI장비 영상촬영). 이러한 촬영 준비를 하루 평균 5회 정도 실시한다고 한다. 방사선사의 시간별 활동 내용(MRI촬영 준비에 걸리는 시간, 촬영실에 들어가는 횟수, 주기, 시간), 병원규모, 환자의 상태 등에 따라 다를 수 있다.

- 본 연구에서는 방사선사가 MRI 촬영실에 들어가서 촬영을 위한 준비 시간 전체(1.40분)를 실시간으로 모니터링하고 그 결과를 분석했다.

- 방사선사에게 정자기장 모니터링 장비(THM-1176)를 허리에 채우고 센서를 가슴 부위에 장착하여 방사선사가 촬영실내에서 머무는 동안 활동별 정자기장 노출을 그림 5와 같이 시뮬레이션으로 평가하였다.

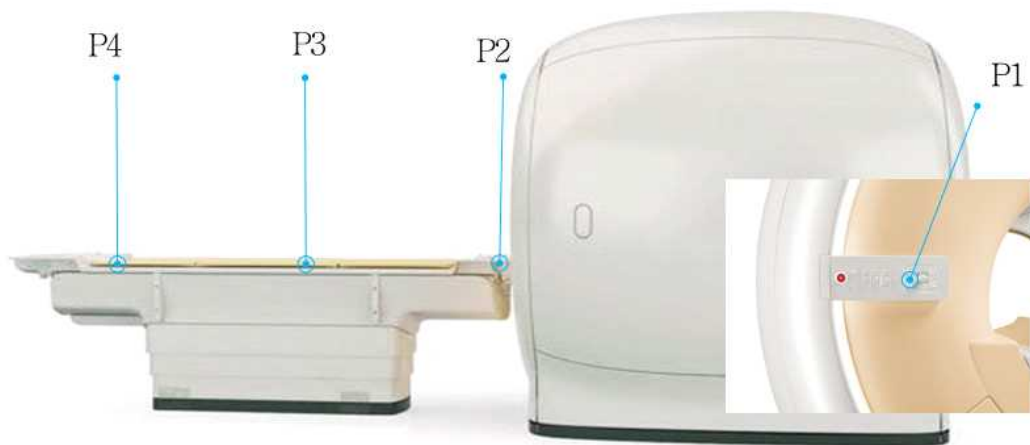


[그림 5] MRI 방사선사들의 THM-1176을 이용한 정자기장 모니터링 모습(가슴에 모니터링 센서 부착. 프로보로 연결되어 있다.)

- 방사선사의 시간활동별로 실시간으로 모니터링한 정자기장 자료를 아래 변수에 따라 코딩하고 분석하였다.

- ▷ 병원
- ▷ 장비 모델
- ▷ 장비 구매 시기
- ▷ 촬영실내에서 주요 이동공간(P1, P2, P3, P4)
- ▷ 장비 정자기장 강도 등이다

- 방사선사가 촬영실내에서 활동할 때 MRI 장비 위치 4개 지점(P1, P2, P3, P4)에서 발생하는 정자기장을 코딩하고 비교하였다. 방사선사가 촬영실내에서 머무는 시간 중 MRI 4개 지점별 활동을 촬영한 비디오를 통해 4개 지점에서 높이 30cm 가량 높이에서 모니터링된 정자기장 발생수준별로 골라서 지점별 평균 정자기장 노출 수준으로 결정하였다(그림 6).



[그림 6] MRI 장비에서 개인 노출과 관련된 주요 측정위치

참고

본 연구에서 방사선사의 하루 개인 노출을 평가하지 못한 이유

○ 방사선사의 정자기장 노출은 근무시간 동안 실시간으로 촬영실 안과 밖에서 모니터링하고 그 결과를 누적노출로 평가하면 된다. 아래와 같은 이유 때문에 이 개인 노출을 평가는 불가능했다.

- MRI 촬영실안으로 정자기장 센서 프로브를 연결하고 이동하는 것이 불가능하다.
- 환자/방사선사의 개인정보 보호 때문에 CCTV를 활용하지 못하였다. 방사선사의 시간활동별 위치에서 노출수준을 추정하지 못하였다.
- 위의 기술/윤리적 한계로 실시간 정자기장 노출수준을 모니터링하지 못하였다.

○ 이에 본 연구에서는 MRI 방사선사들의 MRI 촬영실에서 동일한 동선을 가정(시뮬레이션)하여 정자기장의 개인노출을 여러 근무특성(병원, 장비모델, 시간 활동 등)별로 추정하였다.

○ 정자기장 모니터링 자료 분석

- 정자기장 발생수준은 방사선사가 MRI 촬영실에 1회 들어가서 촬영준비를 위한 활동을 1/20초 간격으로 구분하고 이때 실시간으로 모니터링한 결과를 분석하였다. 모니터링 정자기장 결과를 MRI 장비 및 병원 특성별로 분석하여 정자기장 발생에 유의한 영향을 미치는 요인을 규명하였다. 방사선사의 MRI노출에 영향을 미치는 환경 및 직무요인으로 병원/MRI 장비 제조년도/ MRI 장비 제조회사/MRI 장비 정자기장 강도로 가정하였다.

- ▷ 병원
- ▷ MRI장비 모델
- ▷ MRI장비 제조 연도

▷ MRI 장비 정자기장 강도(Unit)

- 정자기장 발생수준은 산술평균, 기하평균과 각각의 변이를 나타냈고 범위를 표와 그림으로 각각 나타내 모든 자료의 분포를 비교할 수 있도록 했다.

○ 방사선사의 정자기장 과거 누적 노출 추정

- 본 연구에서 방사선사가 취급한 MRI장비 특성별로 모니터링한 정자기장 측정치를 분석하여 정자기장 노출에 유의한 영향을 미치는 주요 결정요인을 규명하였다. 이 결과를 역학연구 설문대상자에 외삽하여 과거 누적 정자기장 노출수준으로 추정하였다(그림 7).

- 역학연구에서 MRI 방사선사가 응답한 아래와 같은 장비 및 근무 환경 특성에 따라 본 연구에서 규명한 정자기장 노출 결정요인별로 대입해서 과거 정자기장 노출을 추정한 것이다.

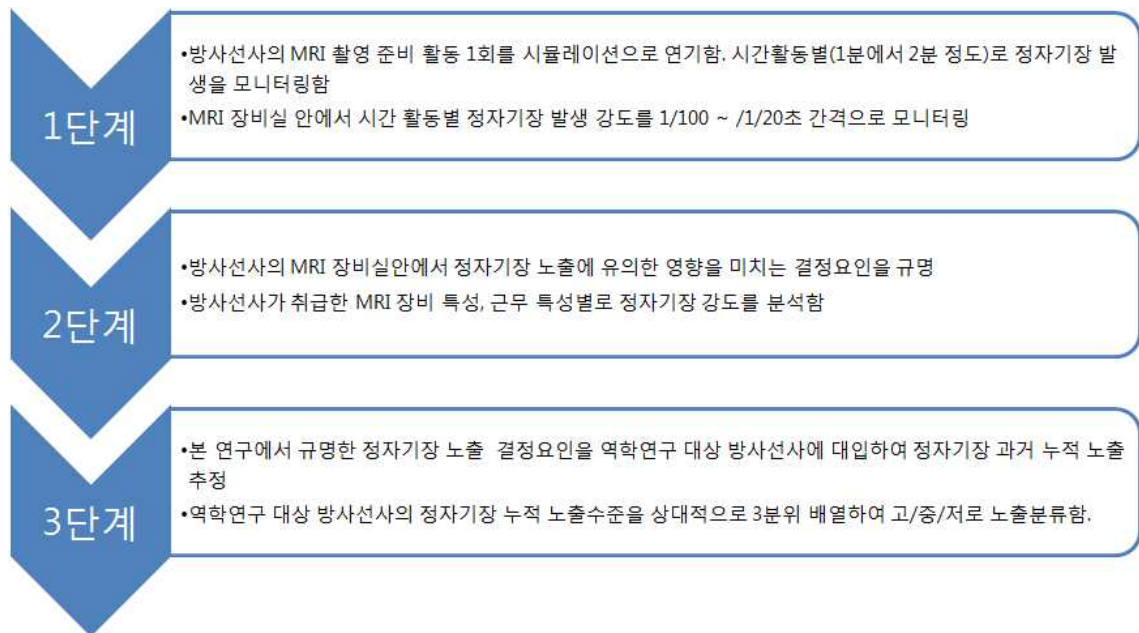
▷ MRI 장비 특성. 취급한 기간, 모델, 정자기장 강도 등을 포함한다.

▷ 근무한 기간

- 본 연구에서 규명한 유의한 요인별 정자기장 측정결과를 역학 조사 대상 방사선사가 응답한 장비 및 시간활동 노출요인과 노출기간을 누적하여 과거 정자기장의 누적 노출량으로 추정했다. 정량적 정자기장 노출수준의 분포를 3분위 또는 4분위로 나열하여 역학연구 대상 방사선사의 정자기장 노출수준을 상대적으로 분류하여 평가하였다.

- MRI 장비실 환경에서 건강 영향요인은 정자기장, 소음, 경사자기장, 라디오파 등을 들 수 있다. 이들 유해요인이 예방 또는 사전주의 측면에서 유의미한 건강 영향을 미칠 가능성이 있는 요인은 정자기장으로 판단하고 본 연구에

서 모니터링하고 평가하였다. 다른 건강요인들은 본 연구에서 측정과 평가를 제외한 이유는 부록 1에 정리하였다.



[그림 7] 방사선사의 과거 정자기장 누적 노출 추정과정

2) 국내외 학술문헌 검토

○ 세계보건기구(WHO)의 국제 EMF 프로젝트(International EMF Project)에서 2006년 고강도 정전기장 및 정자기장 노출이 건강에 미치는 영향을 전방위적으로 검토하였다.

○ 대체적으로 전자기장이 인간의 건강에 영향을 줄 수 있다고 볼 근거가 부족하다고 결론을 내렸으나, 현재까지 잘 수행된 역학조사 또는 장기적인 동물 실험이 없기 때문에 mT 범위에서의 노출에 대한 장기적인 건강 영향이 있는지, 없는지에 대한 결정을 내리는 것은 불가능한 상황이라고 지적하였다.

○ 국제암연구소(IARC) monograph(2002)에서는 극저주파 전자기장을 소아 백혈병에 국한되어 제한된(limited) 근거를 가진 Group 2B로 분류하고 있다.

○ WHO는 국제기구의 기준을 적용하는 것을 권고하고 있으며, 각국은 IEEE, ICNIRP 기준의 수용여부를 자율적으로 결정한다.

○ ICNIRP의 권고 제한값은 직업적 노출의 경우 근무일 동안에 시간가중 평균값(Time-weighted Average Value)으로 200mT이며 2T를 상한값으로 하고 있고, 일반인의 경우 연속노출의 제한값은 40mT이다[6].

○ (전자파흡수율, SAR) 한국, 미국, 캐나다, 볼리비아, 이란, 베트남은 IEEE의 1.6 W/kg(1g 평균) 기준을 채택하였고, 유럽, 일본 등 대부분의 국가는 ICNIRP의 2.0 W/kg(10g 평균) 기준을 채택하였다.

3) MRI 관련 업무 종사자들의 자기장 노출 실태 및 건강 실태 분석

○ 비교군 선정(CT, U/S 또는 일반촬영 방사선사)

○ 심층 인터뷰

- 설문지 개발과 적절한 비교군 선정을 위해 표적집단인터뷰(Focus group interview)를 실시한다.

- 조사 내용 및 방법: 주요 증상, 사고성 노출의 가능성, 노출 평가시 유의사항, 노출 양상의 시간에 따른 변화, 유사노출군 정의시에 유의해야할 직무 분석 내용, 근로조건 및 환경 등에 대한 반구조화된 면접지를 사용한다.

○ 설문 조사

- 근로조건, 근무시간과 형태, 주관적 노출 수준, 보호구 착용 실태, 주관적 증상 호소 정도 등에 대한 집단 실태 조사를 실시한다.

- 코호트 구축시에 필요한 기초조사 + 현재 증상 호소 수준 등에 대한 단면조사를 실시한다.

- 장기 추적 연구 설계를 위한 기본 정보 수집 : 대상자의 적절성, 비교집단의 적합성, 목표 질환의 확인, 연구 설계 (코호트, 노출군-비노출군, 코호트내 노출군-비노출군 등)의 적절성을 평가한다.

- MRI 자기장 노출 및 유사 자기장 노출 업종에서 발생 가능한 건강영향과 의심되는 증상군 조사

- MRI 방사선사 네트워크 및 웹사이트를 활용한다.

○ 코호트 구축

- 장기 건강 영향 파악을 위한 동의서 개발 및 작성한다.

- 2차 자료(건강보험공단 수진내역, 사망자료, 암등록자료 등) 연계를 위한 행정 문제 검토와 방안 마련한다.

- 목표 질환의 특성에 따른 코호트 활용 방안 마련한다.

○ 조사 자료 및 기존 연구를 기반으로 한 심화 연구

- 장단기 노출에 의한 건강영향(발암성, 신경계 증상)을 평가한다.

○ 전문가 의견 수렴 등

- 역학조사평가위원회를 통한 의견수렴

- 직업환경의학회 발표

- 국내외 관련학회 발표 및 교류

○ 참여자 인센티브 제공 방법

- 모바일 웹사이트를 통한 설문 조사는 1인당 최대 3회가 이루어지며, 각 회의 설문을 완료하면 실시간으로 모바일기프티콘상품권(최대 2만원 상당)을 제공하여 보다 적극적인 설문 참여를 유도하였다.

III. 연구결과

1. 연구결과 및 고찰

1) 국내 및 해외 자기장 노출 업종 실태

○ 자기장 노출은 전기를 사용하는 대부분의 업종이나 직무 근로자에게 발생하며, 주요 업종, 직무에서 보고된 자기장 노출 및 발생 수준을 정리하였다.

① 반도체

- 국내에서는 정은교 등(2012)이 반도체 공정 근로자의 자기장 자기장 노출 평가를 보고한 것이 유일하며[17] 반도체 제조 사업장에 종사하는 근로자의 작업환경 및 유해요인 노출특성을 조사하면서 용접 작업자도 비교 군으로 측정.

- 35명 운전자 자기장의 평균노출량은 산술평균으로 0.82 uT, 장비엔지니어는 21명으로 0.74 uT, 오퍼레이터는 35명으로 0.67 uT였다. 비교 군으로 측정한 선박건조업의 용접작업자는 산술평균 3.46 uT, 기하평균 0.45 uT로서, 산술평균은 반도체사업장 근로자보다 훨씬 높았으나, 기하평균으로는 반도체업종 근로자와 비슷한 농도수준이었다. 이것은 반도체 공정내의 자기장 자기장의 평균농도 수준이 고르게 일정수준을 유지한다는 것을 의미하며, 용접작업은 연속한 작업이 아닌 단속적으로 이루어지기 때문인 것으로 판단한다.

- 직군별 자기장 자기장에 대한 최고노출량은 공정엔지니어가 123.2 uT, 장비엔지니어가 109.4 uT, 오퍼레이터 15.3 uT 순이었다. 웨이퍼가공라인 근로자만을 비교했을 때와 직군별로 분류한 세 그룹간의 극저주파 자기장의 평균노출

량에도 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p < 0.01$). 또한, 용접작업자의 최고 노출량은 129.6 uT 이었다.

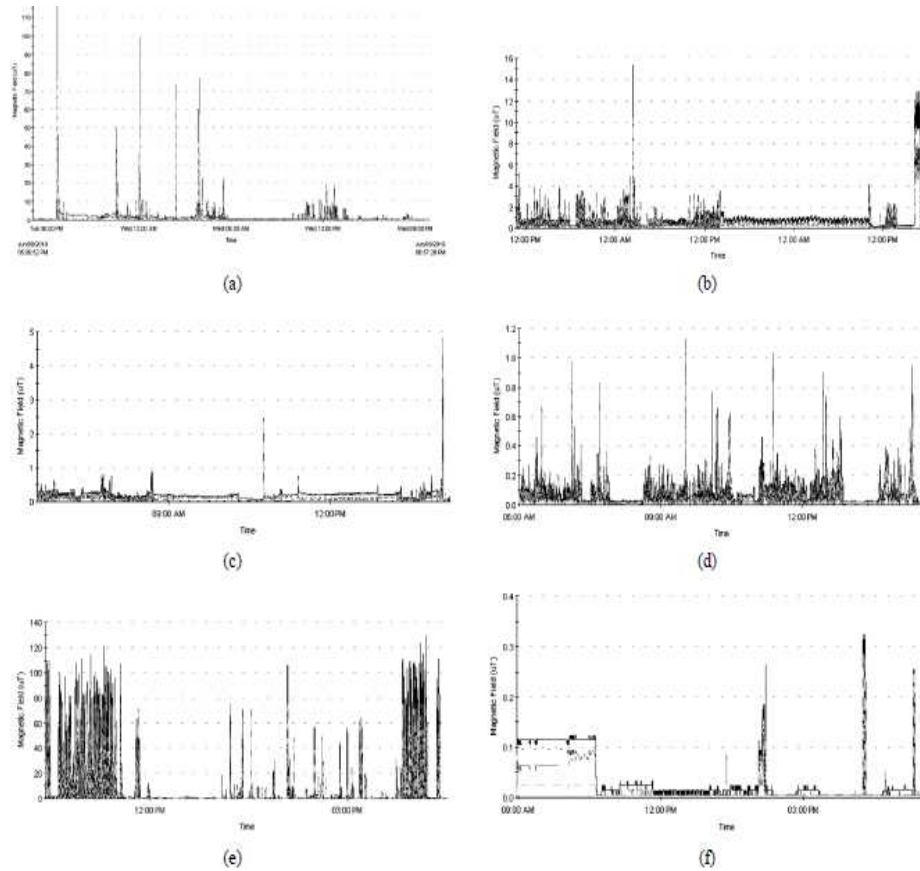
- 2일 동안 연속 측정한 공정엔지니어와 장비엔지니어의 자기장 자기장의 밴드특성은 단시간에 자기장값이 110~120 uT로 최고점이 순간적으로 높아지는 분포를 보였고, 오퍼레이터는 13~15 uT 정도에서 최고값을 나타냈다. 전반적으로 용접작업자들이 웨이퍼 가공라인의 작업자들보다 노출강도가 넓고 높은 것이 특징이다. 사무작업자의 극저주파 자기장의 밴드특성은 배경농도와 유사한 분포를 보였다.

- 용접작업은 고정된 자세로 하는 경우와 이동하면서 하는 경우가 있는데, 용접작업을 하지 않을 때에는 자기장 값이 0.1~0.5 uT로 낮았지만 작업 할 때는 최고값이 70~130 uT 로 고 노출되는 경향을 보였다(그림 8의 (e) 참조).

- 최근에는 박동욱 등(2015) 모 반도체 웨이퍼 가공과 패키징 공정에서 자기장 노출수준을 보고했다[18]. 요약보고서에 나타난 노출수준은 전반적으로 정은교 등(2012)의 연구결과와 비슷하다. 주요 내용을 설명하면 다음과 같다.

웨이퍼 가공 고정 중 확산, 이온주입, 박막 공정 운전자(6건), 장비 정비 작업자(42건), 전기설비 정비 작업자(12건) 등 총 60건의 full-shift(8시간) 개인 노출 평가를 실시한 결과 운전자(1.37 μ T)가 가장 높은 평균 노출수준을 보였고, 전기설비 정비자(0.88 μ T), 장비 정비(0.59 μ T) 순으로 나타났다. 전기 설비자 한 명의 피크 측정치가 109 μ T로 자기장 일반인 인체보호기준 83 μ T를 초과하는 수준이었으나, 직업인 보호기준(415 μ T)으로서는 기준치 이내였다.

- 공정별 평균 개인 노출 수준을 비교하면 운전자의 경우 이온주입(1.74 μ T), 확산(1.69 μ T), 박막(0.69 μ T) 순이었고, 장비 정비 작업자의 경우 확산(1.75 μ T)이 타 공정에 비해 높게 나타났다(표 3).



[그림 8] 자기장 시간별 노출수준

(a= 웨이퍼 가공 공정 정비 작업자 2일 연속 모니터링 결과, b=웨이퍼 가공 공정 운전자 2일 연속 모니터링 결과, c=8시간 정비 작업자 노출수준, d=조립라인 운전자 8시간 노출결과, e= 용접작업자, f=사무실 근로자 8시간 노출결과)

<표 3> 웨이퍼 가공 공정의 직군 및 공정별 자기장 개인노출 평가 결과

직군	공정	자기장 측정결과, μT^*					
		N	AM	SD	MIN	MAX	PEAK [#]
운전자	소계	6	1.37	0.58	0.24	1.98	12.31
	확산	2	1.69	0.24	1.45	1.93	4.93
	이온주입	2	1.74	0.24	1.51	1.98	12.31
	박막	2	0.69	0.45	0.24	1.14	5.93
장비 정비자	소계	42	0.59	0.62	0.10	3.73	35.36
	CMP	6	0.14	0.03	0.10	0.21	16.83
	확산	6	1.75	0.96	0.75	3.73	35.36
	식각	11	0.53	0.07	0.43	0.64	23.52
	이온주입	6	0.37	0.11	0.21	0.55	15.67
	포토	6	0.53	0.06	0.43	0.58	21.97
	박막	6	0.34	0.13	0.13	0.50	17.31
	사무실 근무	1	0.10	0.00	0.10	0.10	3.73
전기 설비 정비자	소계	12	0.88	0.90	0.25	3.37	109.0
	C/R 내부	5	0.41	0.17	0.25	0.64	32.12
	C/R 외부	5	1.51	1.11	0.37	3.37	109.00
	사무실 근무	2	0.46	0.03	0.43	0.49	33.16
총합계		60	0.73	0.72	0.10	3.73	109.00

*본 측정치는 TWA 평균 노출수준으로 이를 평가할 수 있는 권고/허용기준은 아직 없다.

PEAK는 실시간 노출 값들 중 최고 노출수준을 의미한다. 자기장인체보호 기준 최고 노출수준(미래창조과학부고시 제2013-118호)은 직업인 415 μT 에 비해 낮다.

- 패키지 공장을 대상으로 자기장 개인노출량을 조사한 결과 8시간 평균 노출수준은 운전자(평균: 0.73 μ T)가 정비자(평균: 0.43 μ T)보다 높았고, 최대 노출수준은 정비자가 26.7 μ T로 더 높았다. 세부 공정별로 볼 때 테스트 운전자(평균: 1.5 μ T, 최대: 21.9 μ T)가 다른 공정에 비해 높은 수준으로 노출되고 있었다(표 4 참조).

<표 4> 패키지 공장 자기장 개인 노출 수준 요약

직군	공정	자기장측정결과 (μ T)					
		N	AM	SD	MIN	MAX	PEAK
운전자	소계	30	0.73	0.57	0.03	1.90	21.9
	TDBI SORTER	4	0.50	0.24	0.30	0.80	7.4
	칩 집착 (7line, oven, AP)	6	0.52	0.18	0.37	0.76	15.4
	TEST (C1-C3)	7	1.50	0.34	0.85	1.90	21.9
	모듈(A/T, C/M, E/T)	5	0.92	0.53	0.31	1.53	7.71
	웨이퍼 테스트(고/저온, EPM, WFBI)	8	0.21	0.15	0.03	0.40	9.63
정비자	소계	27	0.43	0.31	0.14	1.36	26.7
	TDBI	10	0.40	0.21	0.14	0.72	26.7
	칩 집착	2	0.23	0.01	0.22	0.23	4.2
	모듈(A/T, C/M, E/T)	12	0.53	0.40	0.17	1.36	4.55
	웨이퍼테스트	3	0.26	0.07	0.20	0.34	7.99
총합계		57	0.59	0.48	0.03	1.90	26.7

본 측정치는 평균 노출수준으로 이를 평가할 수 있는 권고/허용기준은 아직 없다.

PEAK는 실시간 노출 값들 중 최고 노출수준을 의미한다. 자기장인체보호 기준 최고 노출수준(미래창조과학부고시 제2013-118호 일반인 83 μ T, 직업인 415 μ T)

- 패키지 공정 근로자의 자기장 노출이 가장 높은 공정은 테스트와 모듈이다. 이 공정 운전자의 자기장 노출수준은 국내 패키지 가공 공정에서 보고된 결과와 비슷하다.

- 미국에서는 오래 전에(1995)에 반도체 웨이퍼 가공 공정에서 자기장 모니터링 결과를 보고한 바 있다[19]. 표 5는 웨이퍼 가공 공정 직무, 지역, 시기(1990년, 1991년, 1992년)별로 노출수준을 요약한 것이다. 평균 노출수준이 대부분 1 μ T(10 mG)이하이지만 확산, 퍼네이스 등에서 이를 초과한 경우도 있었으며 위에서 설명한 국내 반도체 근로자의 자기장 노출수준과 비슷한 것을 알 수 있다.

<표 5> 반도체 웨이퍼 가공 공정별 직무별 자기장 노출 수준

	ELF-MF levels (mG) in company 1			ELF-MF levels (mG) in company 2		ELF-MF levels (mG) in company 3		
	1990	1991	1992	1990	1992	1990	1991	1993
Devices								
Diffusion furnaces	48.3±16.3	43.7±22.4	41.1±10.7	35.0±17	39.2±20.1	7.8±2.3	10.6±2.8	9.2±1.6
Other furnaces	5.4±2.8	1.0	16.7±10.4	22.1±28.1	ND	25.0±4.2	14.2±10.4	ND
Etchers	4.3±3.2	4.3±3.9	3.0±0.8	2.5±1.8	3.2±3.0	1.2±0.4	2.2±0.8	3.7±1.2
Microscopes	4.0±1.1	5.9±3.4	8.3±3.9	3.4±1.0	5.6±2.3	ND	3.8±4.7	3.2±3.0
Aligners	107±1.2	8.0±1.2	9.9±1.8	0.6±0.1	1.0±0.8	3.0±0.3	2.3±1.0	3.5±1.0
Sputterers	5.2	5.0	6.7±3.1	2.2±1.9	6.0±1.4	4.5±2.1	ND	9.2±0.6
Ion implanters	ND	ND	0.8	2.8±2.3	2.2±1.7	3.3±0.4	2.4±0.5	1.9±0.9
Epitaxy reactors	6.9±5.4	3.5±2.1	3.3±1.1	ND	ND	ND	0.9±0.1	ND
CVD	ND	ND	1.7±0.2	ND	ND	ND	ND	ND
Areas								
Photolithography	9.4±7.3	5.7±5.1	9.1±8.0	0.6±0.3	0.7±0.8	2.7±0.7	ND	2.2±1.0
Etching	4.0±2.3	4.3±2.5	6.1±3.2	1.0±0.7	0.9±0.9	1.3±0.9	0.9±0.7	1.5±1.0
Diffusion	3.0±1.7	7.6±7.3	5.9±2.9	2.1±1.1	3.7±3.3	4.3±2.6	4.1±2.4	5.7±3.0
Detals	4.3±2.9	3.6±2.0	7.7±4.8	1±0.7	0.9±0.9	1.5±0.3	0.9±0.3	1.7±0.8
Epitaxy and CVD	3.6±2.5	2.4±1.3	2.6±1.6	ND	ND	ND	ND	ND
Ion implantation	ND	ND	0.28±0.1	1.6±0.8	1.0±0.5	2.7±1.6	1.0±0.3	ND

*mG, milligauss; ND, no data; CVD, chemical vapor deposition.

② 전기취급 업종

- 표 6은 Joseph 등(2007)이 미국에서 전기 취급 직무별로 자기장 노출수준 결과를 정리한 것이다[20]. 전기엔지니어; 0.275 μ T, 전기기술자; 0.66 μ T, 전기공; 0.366 μ T, 전화선; 0.199 μ T, 0.49 μ T, TV수리; 0.394 μ T, 0.270 μ T, 전기발전소(power station); 1.433 μ T, 0.615 μ T, 전기 설비자(fitter); 0.298 μ T, 1.555 μ T, 그리고 용접작업자 8.1 μ T 등이다. 용접 작업자의 노출수준이 가장 높다.

<표 6> 전기취급 근로자 직무별 자기장 노출수준(Joseph 등, 2007)

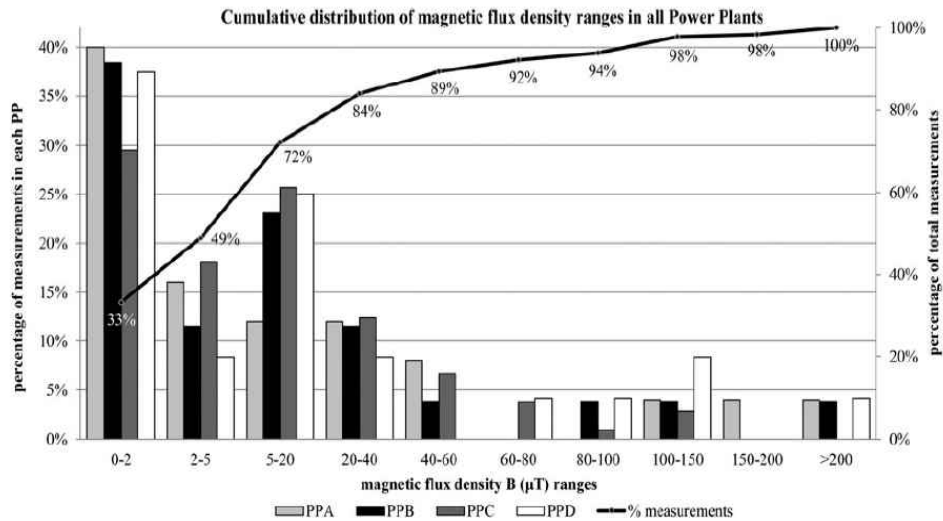
Job Category and Region			Statistics (μ T)			GSD (Unitless)
	SOC	N	AM	SD	GM	
Elec. engineer(LA, NZ, WA)	1633	30	0.275	0.329	0.178	2.49
Elec. technician(LA, NZ, WA)	3711	27	0.366	0.277	0.277	2.17
Elec. ling worker(LA, NZ, WA)	6433	150	3.607	10.924	0.944	4.24
Electrician ^A (LA, NZ)	6432	26	0.366	0.322	0.314	1.61
Fitter ^B (NZ, WA)	6153	25	0.298	0.234	0.227	2.12
Fitter(NZ, WA)	6153	30	1.555	1.629	0.913	3.03
Phone line(LA)	6157	32	0.199	0.134	0.167	1.80
Phone line(LZ)	^C	14	0.349	0.299	0.277	1.93
Power station operators(LA, WA)	6932	51	1.433	2.236	0.783	2.83
Power station operators(NZ)	^C	18	0.615	0.556	0.449	2.18
Projectionist(LA)	7479	14	0.795	0.679	0.625	1.98
TV repairer(LA)	6155	25	0.394	0.246	0.297	2.39
TV repairer(NZ)	^C	16	0.270	0.152	0.240	1.60
Welder(LA, WA)	7714	28	1.753	2.472	0.896	3.20
Welder(NZ)	^C	5	8.080	7.057	4.797	4.00

③ 발전소

- 최근(2015) 그리스 3개 발전소에서 측정한 자기장에 대한 노출결과를 정리했다(표 7). 최고 높은 수준은 410 uT였다. 발전소간의 차이가 있지만 평균과 중위수는 비슷하다. 산업체 노출수준보다는 높은 것을 알 수 있다. 누적분포(그림 9)를 보면 대부분(84 % 정도)이 40 uT이하이다[21].

<표 7> 그리스 3개 발전소에서 모니터링한 자기장 결과(평균, 범위, 분포 등을 나타냄)(Maria 등, 2015)

B(μ T)	PPA	PPB	PPC	PPD
Mean	39	24	17	31
Minimum	0.02	0.06	0.06	0.16
Maximum	470	201	136	206
Standard deviation(σ)	98	48	26	53
Median	3.	5	6	6
Fifth percentile	0.03	0.09	0.16	0.44
95th percentile	410	128	64	129
IRQ	34	21	23	30



[그림 9] 그리스 3개 발전소에서 측정한 즉 저주파 수준의 누적 분포(대부분 60 uT 미만에 분포하고 있는 것을 알 수 있다)

④치과 병원[22]

- 일본 치과 종사자의 자기장 노출을 평가한 결과를 정리했다. 평균 노출은 0.3 uT이하이다. 평균 0.3 uT를 넘는 비율은 19.6 %와 36 %로 나타났다. 위에서 고찰한 산업장 근로자의 노출수준보다도 훨씬 낮은 것을 알 수 있다. 피크 노출에 대한 결과는 없다.

<표 8> 병원 치과 종사자의 자기장 노출 수준(일본 자료)

Statistic ^a	Hospital dentists (N=33)	Clinic dentists (N=32)	<i>p</i> value
Average exposure			
Min.-Max.	0.06-0.90	0.05-0.73	0.283 ^b
AM±SD	0.24±0.16	0.28±0.16	
GM±GSD	0.20±0.18	0.23±0.19	
% of time>0.3 μ T			
Min.-Max.	0.00-91.71	0.20-99.96	0.064 ^b
AM±SD	19.61±28.89	35.71±38.87	
% of time>0.4 μ T			
Min.-Max.	0.00-88.09	0.00-98.88	0.448 ^b
AM±SD	13.92±25.90	19.39±31.70	

⑤ 서비스 업종

- 표 9는 서비스업종에서 계산기 근처 종사자의 자기장 노출감시 자료를 정리한 것이다. 문의 종류별 장소별로 측정한 결과이다. 문 0.2 m이내가 가장 높다. 종사자의 자리에서는 대부분 1 μ T이하로 측정되었다[23] 위에서 고찰한 산업장 근로자의 노출수준보다도 훨씬 낮은 것을 알 수 있다.

<표 9> 계산기 종사자 근처 자기장 수준(Roivainen 등, 2014)

Place of mesurement	Type of gate	Magnetic flux density (μ T)		
		Cashier's seat (mean and range)	In the middle of the gates (range)	0.2m from one of the gates (range)
1. Supemerket, entrance	EM	n.a. ^a	11-29	17-37
2. Supermarket	EM	1.6(1-2)	7-20	33
3. Library	EM	3.0(1-4)	13-21	16-30
4. Exhibition hall	EM	2-3 ^b	10-28	14-79
5. Supermarket	EM	0.94(0.8-1)	9-29	7-30
6. Supermarket	EM	0.57(0.4-0.7)	24-31	39
7. Small market	EM	0.96(0.8-1)	45-46	38-44
8. Supermarket	EM	0.43(0.4-0.5)	33-38	28-29
9. Small merket	EM	0.60(0.5-0.7)	34	58
10. Hardware store	AM	0.81(0.4-1)	4-18	2-52
11. Supermarket	AM	0.27(0.2-0.3)	19	138
12. Post office	AM	0.24(0.2-0.3)	10-20	31-189

참고: 전자파 관련 암 등 질병 연관 역학연구에서 연구 대상자의 자기장 노출수준

○ 전자파 노출은 어린이 백혈병의 유의한 원인인자이지만 성인에 대한 암 등 여러 건강 영향(치매, 알츠하이머 등)은 아직 논란이 되고 있다. 전자파의 자기장 에너지가 암을 초래하는 개시인자는 아닐지라도 발암물질과 함께 노출되었을 때 발암영향을 촉진시키는 촉진제(promotor)로서 기여한다는 연구결과가 많다.

<표 10> 전자파의 암에 대한 노출 오즈비

저자(년도)	역학조사 방법	노출강도, μT	오즈비	해석
Floderus B, et al.(1993)	환자-대조군	0.15 이하	기준	
		> 0.29	1.6 (1.1-2.4)	백혈병이 0.15 μT 이하 직업적 노출그룹에 비해 4분위 노출그룹($\geq 0.29 \mu\text{T}$)이상 그룹에게서 1.6배 유의한 전자파(1.1-2.4)에 노출되었다
		0.2-0.28	2.2 (1.1-4.3)	CCL이 0.15 μT 이하 노출그룹에 비해 3분위 노출그룹(0.2-0.28 μT) 그룹에게서 2.2배 유의한 전자파 노출되었다
		> 0.29	3.0 (1.6-5.8)	CCL이 0.15 μT 이하 노출그룹에 비해 4분위 노출그룹($\geq 0.29 \mu\text{T}$) 그룹에게서 3배 유의한 전자파 노출되었다
Hakansson et al.(2002)	환자-대조군	< 0.16	기준	
		0.25-0.53	2.3 (1.1-4.4)	여자, Astrocytoma I-IV 기준 노출에 비해 유의하다
		> 0.53	3.0 (1.1-8.6)	여자, Astrocytoma I-IV 기준 노출에 비해 유의하다
		0.25-0.53	1.3 (1.0-1.5)	남자, 기준노출에 비해 Urinary organ 유의하다
		> 0.53	1.4 (1.0-2.0)	남자, 기준노출에 비해 Urinary organ 유의하다

저자(년도)	역학조사 방법	노출강도, μT	오즈비	해석
Garcia et al.(2008)	코호트 연구 메타분석	≥ 0.5	2.42 (1.58-3.72)	
	사례-대조 연구 메타분석	≥ 0.2	3.36 (2.2-5.14)	
Gobba F et al.(2009)	실험연구	< 0.2	기준	
		≥ 1		기준($<0.2 \mu\text{T}$)보다 암억제세포 수준과 유의한 차이
Andel R et al.(2010)	환자-대조	< 0.12	기준	
		$0.12 - < 0.2$	1.94 (1.07-3.54)	75세 이하 유의한 치매
		≥ 0.2	2.01 (1.0-3.65)	모든 종류 치매 유의하다

2) 국내 상용 MRI 촬영기기의 자기장 발생 파악 및 측정

○ MRI 촬영기기의 제조사 및 제조년도와 촬영부위에 따른 자기장 측정결과를 2016년 1월 27일 서울아산병원 MRI실에서 수집하였다.

○ 제조업체에서 제공되는 자기장 측정장치는 200mT 이하의 구역에서만 자기장을 측정할 수 있으나, MRI 방사선사는 200mT 보다 높은 자기장 영역에서 근무하는 빈도가 높다.

○ 따라서 자기장 측정범위가 0-100mT / 500mT / 3T / 20T 로 다양한 측정장치(모델명 THM-1176-PDA)를 사용하였다.

○ 자기장 측정대상인 MRI 촬영기기의 제원은 다음과 같다.

PHILIPS Ingenia 3.0T(3.0T), PHILIPS Acheiva 3.0TX(3.0T), PHILIPS Acheiva 1.5T(1.5T), SIEMENS Skyra 3.0T(3.0T), SIEMENS Avanto

1.5T(1.5T)

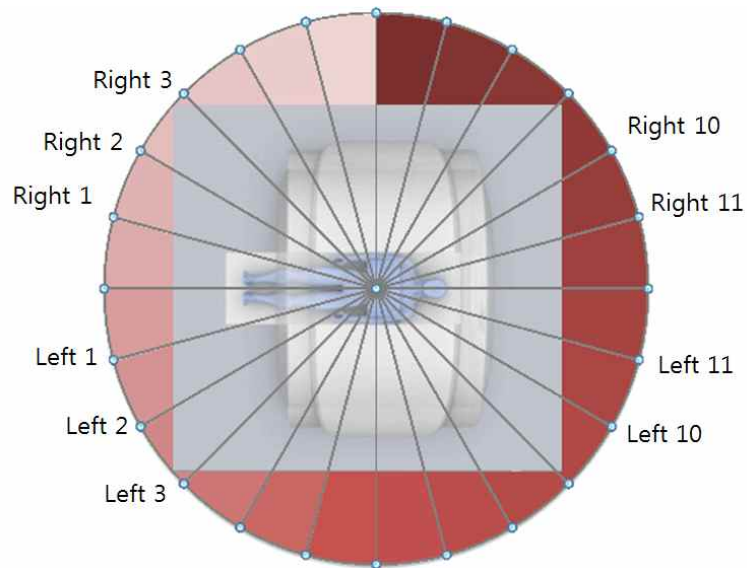
○ 측정 대상인 자기장은 정자기장(Static magnetic field)이며, 먼저 MRI 촬영기기 주변의 정자기장을 측정하였고, 다음으로 MRI 방사선사의 작업 위치별 정자기장을 측정하였다.

○ MRI 촬영기기 주변의 정자기장 측정결과는 다음과 같다(표 11).

<표 11> MRI 촬영기기 주변의 정자기장 측정결과

위치	Philips Ingenia 3.0T		Philips Acheiva 3.0T		Philips Acheiva 1.5T		Siemens skyra 3.0T		Siemens Avanto 1.5T	
	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right
1번	1815	1850	1780	1963	653	709	1520	1592	1065	960
2번	690	645	650	575	314	273	715	723	472	364
3번	338	462	301	230	156	103	270	225	182	138
4번	270	330	224	213	121	118	210	67	175	47
5번	232	275	201	203	150	141	263	85	160	59
6번	176	162	175	196	139	131	274	90	153	49
7번	216	182	289	171	131	146	232	82	165	44
8번	258	230	205	175	112	113	207	71	123	52
9번	320	270	213	225	141	129	342	170	165	152
10번	570	621	575	421	438	426	852	640	652	49
11번	1564	1543	1550	1603	903	795	1555	1545	975	711

○ MRI 촬영기기의 표면에서 측정하였고, 세부 측정위치는 환자가 MRI 촬영기기 위에 누워있는 자세를 기준으로 왼쪽과 오른쪽을 나누어 환자의 정중앙선(median line)을 제외한 나머지 위치 중 다리쪽부터 머리쪽까지의 위치를 11 곳으로 나누어 순서대로 1번-11번으로 명명하였다(그림 10).



[그림 10] MRI 촬영기기 표면 중 세부 측정위치

○ MRI 방사선사의 작업 위치별 정자기장 측정결과는 다음과 같다(표 12).

<표 12> MRI 방사선사의 작업 위치별 정자기장 측정결과

위치	Philips Ingenia 3.0T	Philips Acheiva 3.0T	Philips Acheiva 1.5T	Siemens skyra 3.0T	Siemens Avanto 1.5T
1번	867	460	237	660	526
2번	1550	1432	548	1615	1021
3번	63	387	23	44	128
4번	7	6	2	6	4

○ MRI 방사선사의 주요 작업 위치 4곳은 선정하여 세부 측정위치를 MRI 촬영기기 중심으로부터 먼 곳까지 순서대로 1-4번으로 명명하였다(그림 6).

3) 건강 주의 계층의 MRI 자기장 노출 관련 업무 적합성

○ MRI의 유해성에 관한 연구는 MRI 검사를 받는 피검자에 관한 연구와 MRI 종사자에 관한 연구로 나뉜다. 연구의 내용을 살펴보면 피검자의 몸 안에 설치된 금속물질(biomedical implants)이나, 질병의 조절을 위해 설치한 의료장치(medical device)에 관한 연구가 대부분이며, 자기장과 소음, RF, 전자장 등 MRI의 유해성 인자에 관한 연구는 극히 드물다. 이 또한 대부분 일시적으로 검사를 받는 피검자에 관한 내용이며, 종사자에 관한 연구는 거의 전무한 실정이다.

○ 우선, 일시적으로 검사를 받는 임산부 등 건강 주의 계층의 MRI 자기장 노출에 관한 연구를 살펴보면, 건강 주의 계층 특히 환자와 작업종사자 모두 임신가능성이 있는 임산부에 관한 안전성 확보는 ICNIRP 1994부터 매우 중요시 되었다.

○ 현재까지 임산부의 MRI 자기장 노출로 인한 유해성은 찬반 양론으로 갈리고 있는 실정으로, Baker 등[24]은 임산부 내에 있는 태아를 대상으로 Echo Planar 영상을 획득한 결과 사망, 장애, 청각손실 등에 대한 위험성은 없다고 하였다. Myers 등[25]도 0.5테슬라에서 Echo planar 영상을 획득한 결과 태아에 영향이 없다고 하였으며, 최근에는 Choi 등[26]이 15명의 임산부를 대상으로 연구한 결과 MRI로 인한 태아에 좋지 않은 영향은 없다고 보고하였다. 그러나 Reeves 등[27]은 1.5T 내에서의 검사 중 소음이 태아에게 노출 되었을 경우 청각의 손실을 유발 시킬 수 있다고 보고하였고, Yip 등[28]도 MRI 검사로 인한 태아의 피해는 청력 손실과 기형이 발생할 수 있다고 하였으며, Glover 등[29]은 현재 MRI 검사 도중 발생하는 소음은 태아에게 충분히 안 좋은 영향을 미칠 수 있다고 하였다. 하지만 위 연구 모두 대상자 수가 너무 적거나, 인체를

대상으로 하지 않았거나, 체계적인 역학조사를 통해 위해성을 증명한 연구가 아니라는 한계점이 있다. 이러한 원인으로 인해 어떠한 공신력 있는 기관도 명확하게 아직까지 MRI검사가 일시적으로 검사를 받는 건강 주의 계층이나 임신 부에게 무해하다고 말할 수가 없다.

○ 그러나 위 연구 모두 공통적으로 임신 초기에는 검사 진행에 매우 신중해야 한다고 권고하고 있다. 즉, MRI 검사 시 경사자기장과 라디오 파로 인한 소음과 발열, 그리고 전자기장이 임신 초기에 기형을 유발시킬 수 있기 때문이다[30]. 이는 동물실험에서도 증명되었는데, 임신한 실험용 쥐를 자기장에 노출시켜 태어난 쥐 일부에서 눈 부분에 뇌동정맥 기형과[31], 턱 부분의 기형[28]이 발생하였기 때문이다. Levine 등[32]은 MRI 검사 시 RF 펄스로 인하여 인체의 SAR(specific absorption ratio)값을 고려하여야 하며, 임신부는 보통 일반인 환자의 SAR 값보다 더욱 낮아야 한다고 권고하고 있다. 그러나 아직까지 건강 주의 계층이나 임신부를 대상으로 일시적인 MRI검사 시 공신력 있는 기관의 명확한 연구나 가이드라인은 없는 실정이다.

○ 이해 반해 임신을 한 MRI 작업종사자들에 관한 연구는 일부 공신력 있는 기관에서 진행되었다. ICNIRP 2009와 영국의 Health Protection이 대표적인데, ICNIRP 2009의 Kanal 등[33]은 MRI실 내에서의 임신이 어떠한 영향을 미치는가에 대한 광범위한 역학 조사를 진행한 결과, 다른 직업군의 여성 작업종사자나 전업주부에 비해 통계적으로 유의하지는 않지만, 유산이나 조산, 그리고 저 체중아를 낳을 수 있는 확률이 높다고 하였고, Health Protection의 Etzel 등은 임신한 MRI 작업종사자들의 태아에 관한 연구에서, MR 검사 시 발생하는 소음이 조산이나 저 체중아를 낳을 수 있음에 주의를 권고하였다. 그 외에 개인적으로 Hepper와 Shagidulla 등은 소음으로 발생하는 스트레스는 태아에게 안 좋은 영향을 미칠 수 있기 때문에, 검사 시 임신한 MRI 작업 종사자들의

소음에 의한 피해를 방지하여야 한다고 하였다. 그러나 위에서 언급한 소음의 경우, 기술 수준의 발달로 조종실의 소음이 60dB이하이기 때문에, 임신한 MRI 작업종사자들에게 영향을 미칠 수 있는 인자가 아니며, 자기장은 영상의 질을 향상시키기 위해 점점 높아지고 있는 실정에서 자기장만이 영향을 미칠 수 있는 유일한 인자이다.

○ 현재 임상에서 주로 사용되고 있는 MRI 장비의 자기장 세기는 1.5 Tesla 에서 3.0 Tesla 이다. 이는 MRI실 자기장 내 임신부 작업 종사자에 대한 유일한 연구인 Kanal 등의 연구에서 사용했던 1.0 Tesla 보다 1.5배에서 3배 높은 수치이다. 이처럼 자기장이 점점 높아지는 추세에서, 비교적 최근에 발표된 Health Protection(2008년) 이나 ICNIRP(2009년), 그리고 2013년에 발표된 EU directive도 1993년의 Kanal 등의 연구를 인용하고 있을 뿐 주기적인 자기장의 노출에 관해 새로운 연구는 추가적으로 진행되지 못하고 있는 실정인 것이다.

○ 따라서 적절한 가이드라인이 없는 실정에서 MRI 종사자 뿐만 아니라 임신부 등 건강 주의 계층에 대한 연구를 지속적으로 진행하여, 임신한 종사자는 낮은 강도의 자장의 세기의 순환 근무 및 5 Gauss 영역 밖에서 활동, 일시적으로 검사하는 임신부 및 건강 주의 계층은 검사의 적합성 여부와, 검사시간의 단축, 검사기법의 최적화 등 검사에 관한 가이드라인을 만드는 것이 무엇보다 중요하다.

4) MRI 관련 업무 종사자들의 걱정 업무 노출량 가이드라인 구축 및 건강 영향 모니터링 구축을 위한 방안 모색

○ 1977년에 처음으로 MRI를 이용한 검사방법이 도입된 이후 자기장이나 전기장 때문에 의해 사망에 이른 사건은 현재까지는 없다고 알려져 있으며, 그동안 발생했던 심각한 사건들의 대부분 일시적으로 검사를 받는 피검자의 인체 내 금속물질이나 의료 장치 때문에 일어났다. 이로 인해 현재까지 MRI safety는 주로 검사를 받는 피검자의 몸 안에 설치된 금속물질이나, 질병의 조절을 위해 설치한 의료장치에 관한 것에만 초점이 맞춰져 있으며, 이와 맞물려 전리 방사선의 위험이 오랜 역학조사를 통해 상세히 밝혀지면서, 비전리 방사선인 자기공명영상 검사는 안전하다는 인식이 언제부터인가 사람들의 뇌리에 자리를 잡게 되었다.

○ 그러나, 21세기에 들어서면서 고강도 자기장을 이용하는 기술과 이를 이용한 특정 산업시설(직류전원 또는 정자기장을 이용하는 운송시스템 및 고에너지 물리학 연구시설)이 늘어나면서, 세계보건기구(WHO)의 국제 EMF 프로젝트(International EMF Project)에서는 고강도 정전기장 및 자기장 노출이 건강에 미치는 영향을 검토하게 된다. 특히 WHO는 의료영상분야에서 점차 광범위하게 적용되는 MRI 장비와 관련된 의료진과 환자(특히 어린이와 임산부), 그리고 고강도 정자기장을 발생시키는 자석 제조업 종사자에 대해 건강영향에 따른 공중보건의 중요성을 강하게 지적한다. 또한 MRI operator라고 직접적인 명시를 할 정도로 MRI 촬영 방사선사의 지속적인 관찰 중요성을 강조하고 있다. 현재 이 보고서는 2006년에 출간되었으나, 10년이 지난 지금 국내에는 지속적으로 장비보유 대수만 증가하고 있을 뿐 어떠한 역학조사 및 종사자들의 모니터링 조차 없는 실정이며 관련 작업종사자들이 걱정 업무 노출기준 또한 없다.

○ MRI 관련 작업종사자들의 자기장 노출은 크게 4가지로 분류할 수가 있다. 첫번째는 주 자기장(Static magnet field)으로 0.2~7.0 Tesla 이며 전원에 상관없이 항상 존재하는 자기장이다. 두번째는 자기장내에서 움직였을 경우 발생하는 자기장(Static fringe field gradient)으로 0~25 T/m 정도의 자기장에 노출이 된다. 세번째는 영상을 얻을 경우 그라디언트 자기장으로 0-50mT/m 정도의 자기장에 노출 되지만 작업 종사자들은 검사 시 MRI실의 밖에 있기 때문에 노출되는 경우는 극히 낮다. 마지막으로 네번째는 영상을 얻기 위해 MRI 장비에서 발생시키는 라디오주파수 자기장으로 0-50uT 정도로 극히 낮은 정도의 자기장이다. 이중 작업종사자에게 가장 문제가 되는 것은 첫번째와 두번째로 주 자기장과 자기장 내에서 움직였을 경우 발생하는 자기장이다. 최근 MRI 관련 작업 종사자들에 대한 건강 영향 평가가 중요시 되면서 여러가지 연구가 진행되고 있으며, 가이드라인이 만들어 지고 있다[34].

○ 그러나 이러한 연구와 가이드라인은 다음과 같은 문제점이 있다. 2014년 영국은 ICNIRP를 토대로 작성한 EU directive 2012를 기준으로 법적인 규제를 정하였다[35]. 그러나 이는 대부분 자기장내 종사하는 작업 종사자들에 해당되는 것으로, 현존하는 가장 고 자기장 영역 안에서 지속적으로 움직이며, 반복적으로 장시간 노출되는 MRI 촬영 방사선사들에게 해당되는 경우가 아니다.

○ 또한, 대부분의 가이드라인의 경우 순간 자기장 노출에 의한 부작용 또는 전기장에 대한 영향에 대해 권고하고 있으나 나라마다 가이드라인이 다르다. 미국의 IEEE(The Institute of Electrical and Electronics Engineers)는 자기장 노출을 머리, 심장, 그 이외의 3부분으로 나누어 규제를 하고 있는 반면 [36], 독일의 Federal Ministry of Work and Social Affairs는 전체 몸에 대한 규제를 하고 있고[37], 영국은 National Radiological Protection Board는 ICNIRP의 기준을 따르고 있다[38].

○ 가장 큰 문제는 각각의 기관들이 권고하는 이러한 규제와 가이드라인이 MRI 촬영 방사선사들의 근무환경과 맞지 않는다는 점이다. ICNIRP의 기준에 따르면 MRI 관련 직업적 노출의 경우 머리와 몸통이 2T의 Spatial peak magnetic flux density가 초과되지 않도록 해야 하며, 작업상 2T 이상의 노출이 필요할 경우 작업환경을 통제 하면 8T까지 가능하다고 하고 있다. 또한 전기장 및 자기장 내에서 움직일 때 발생하는 감각적 효과(sensory effect)는 ELF 가이드 라인에서 제시한 기본 제한들을 준수함으로써 피할 수 있으며, 노출이 팔, 다리(limbs)에 제한되어 작업할 경우 최대 8T까지 노출이 가능하다고 권고하고 있다.

○ 이에 반해 EU directive의 경우 주자기장에 대한 권고사항은 없으며 단지 움직임에 의한 자기장 변화를 200mT이하로 규정하고 있다. 이러한 EU directive의 권고사항을 자세하게 살펴보면, 200mT의 한계 내에서 하루에 8시간 이내, 또한 가능하다면 1.5 Tesla 에서는 64분, 3.0 Tesla 에서는 32분으로 제한하고 있는 것으로, 주로 3.0 Tesla 에서 8시간 근무하며, 근무시간 내 24번 이상 출입하는 방사선사의 현실과는 맞지 않는다는 것이다.

○ 그 외에도 각 기관의 권고치는 여러 연구를 기준으로 본인들의 상황에 맞게 권고하고 있다는 점이다. 이러한 원인으로 인해 각 권고안에도 차이가 있는데, 예를 들어 자기장내에서 머리를 위아래로 움직이는 운동의 경우 ICNIRP와 NRPB에서는 280mT로 권고하고 있는데 반해, BMAS에서는 48mT, IEEE에서는 76.8mT로 최저와 최대 권고치가 약 6배 차이가 난다. 또한 자기장내 노출로 인한 상, 하지에 대한 권고사항은 ICNIRP의 경우 0.7V/m으로 IEEE에서 권고한 0.025V/m보다 28배나 높다.

○ 이러한 여러 가지 문제점에 대한 MRI 장비 제조사들은 IEC(International Electrotechnical Commission)의 기준에 따라서 만들기 때문에 안전하다고 한다 [39]. 하지만 이로 인해 자기장 내에서 종사하는 것이 안전하다고 생각하면 오산이다. 이와 같이 각 기관들의 권고사항은 MRI 촬영 방사선사들에 대해 일치되지 않는 것이 현실이며, 이 권고에 따라서 각 나라에서 법적인 규제를 마련하고 있는 곳도 많지 않은 게 현실이다. 현재 이러한 점에 대한 통일이 필요하며 법적인 규제를 만들기 위해 5 Gauss 영역 안에 머무는 시간과 자기장세기의 정밀한 측정, 자장 노출에 따른 영향 등 좀 더 확실한 근거가 필요하다.

○ 앞에서 제시한 연구결과에 더불어 보다 명확한 근거확립을 위한 추가 연구결과를 바탕으로 MRI 관련업무 종사자의 걱정 업무에 대한 가이드라인을 제시하고, 기존에 협조체계가 구축된 관련학회 외에도 MRI 방사선사 네트워크를 포함한 다양한 기관과의 연계를 통해, 이후의 연구결과를 공유하여 다양한 인력의 관심과 참여를 유도할 수 있다. 또한 본 연구에서 건강영향 평가를 위해 개설한 웹사이트는 차후에도 계속 운영하여 보다 정확한 평가를 할 수 있도록 하겠다.

5) 해외의 전자기장 노출 근로자 보호를 위한 사례

○ 기관의 가이드라인이나 선행연구들은 고자기장에 노출이 적은 대상자들에게 관한 연구가 대부분으로, 주기적으로 노출되는 MRI 촬영 방사선사에 관한 연구는 전무하다. 또한 대부분의 연구들도 동물실험이나 장기적인 역학조사 등과 같이 위해에 대한 체계적인 연구 아닌 단순히 자기장 노출에 따른 영향에만 국한되어 연구되고 있다. 이와 같이, 고 자기장 구역에서 근무하는 작업 종사자

와 관련된 체계적인 연구가 거의 전무한 상태에서 고 자기장에 노출이 적은 대상으로 가지고 모호하게 권고하고 있는 것이다.

○ Miller 등[40]의 Ontario Hydro(전기회사)에서 근무하는 남성 직원들을 대상으로 60 Hz 전자기장과 암 유발의 관련성을 조사한 연구에서 오랜 시간동안 전자기장에 노출되었을 경우 백혈병 발병 위험 증가하고, 강한 전자기장의 경우 폐암과의 오즈비는 1.84로 높아진다고 하였다. 또한 Tynes 등[41]의 37,945 명의 전자기장에 노출되는 직종에 근무하는 남성 근로자를 대상으로 한 연구에서 전기 관련 근로자들이 백혈병에 걸릴 확률이 높다고 보고하였으며, 전자기장에 근무한 사람과 근무하지 않은 코호트 연구에선 전자기장에서 근무한 사람이 백혈병, 뇌종양 그리고 림프종으로 더 많은 인원이 사망하였다고 보고했다.

○ 아직까지 고자기장 구역에서 근무하는 작업종사자들의 만성 노출이 유해하다는 근거는 불충분하다. 그러나 반대로 안전성을 입증할 수 있는 근거 또한 부족하다. 방사선의 위해도 수많은 역학조사와 실험을 통해 위해성이 입증되어, 작업종사자들이 법의 테두리 안에서 보호받으며 근무하고 있다. 시간이 지나 많은 연구를 통해 만성적인 고자기장 노출에 대해 어떤 결론이 나게 될지 알 수 없지만, 자기장에 노출에 대한 연구 및 근로자 보호를 위한 제반 절차가 시급히 마련해야 하겠다.

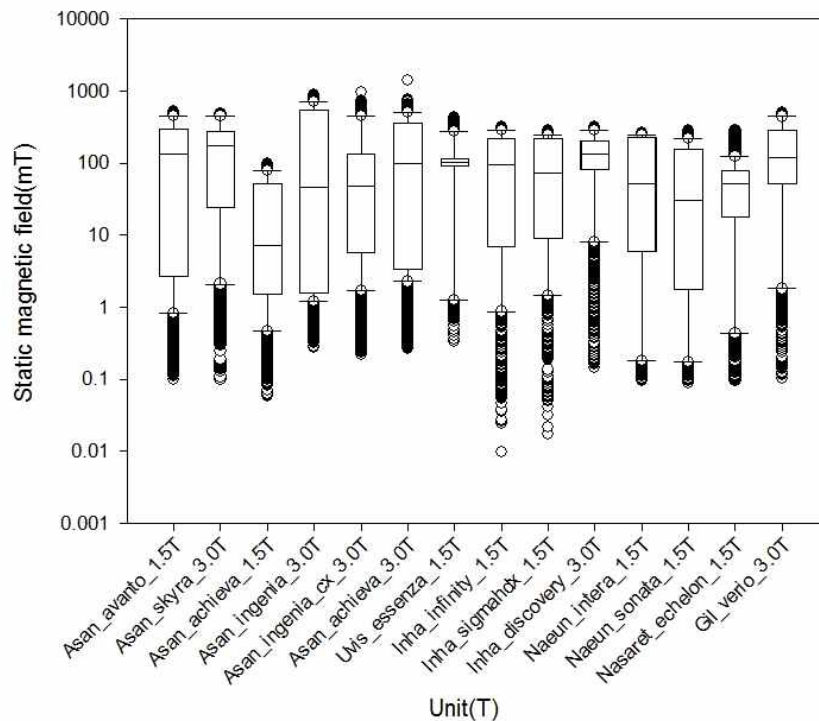
2. MRI 발생 수준 총괄

○ MRI 발생 수준에 영향을 미칠 수 있는 병원 및 MRI 장비 특성별로 그 수준을 비교했다. 6개 병원별 장비 모델과 정자기장 강도별(1.5 T, 3.0 T)로 비교하였다. MRI 발생수준의 유의한 차이를 나타낸 것은 MRI 장비 정자기장 강도와 위치였다(P1, P2, P3, P4).

○ 6개 병원별 MRI 장비 정자기장 강도별 위치별(P1, P2, P3, P4)로 층화한 정자기장 발생 분포를 비교했다. 6개 병원별 장비별 위치별로 정자기장 분포결과를 아래에 나타냈다. 장비별로 MRI가 높은(3.0 T)가 1.5 T 장비보다 유의하게 높은 노출수준을 보였다(표 13).

<표 13> 병원별, MRI 장비별 자기장 발생수준

병원명	제조사	모델	정자기장 강도, T	측정수	범위, mT	평균, mT	표준편차, mT
아산병원	SIMENS	Avanto	1.5	7,430	0.10~514.28	167.79	171.91
	SIMENS	Skyra	3.0	6,070	0.10~483.02	183.64	150.73
	Philips	Achieva	1.5	8,510	0.06~100.06	25.01	31.48
	Philips	Ingenia	3.0	4,450	0.27~889.29	234.92	293.47
	Philips	Ingenia_cx	3.0	8,840	0.22~957.20	124.55	178.57
	Philips	Achieva	3.0	9,660	0.27~1400.95	184.33	196.45
현대유비스병원	SIMENS	Essenza	1.5	1,075	0.33~432.10	111.12	91.51
인하대병원	GE	Infinity	1.5	1,700	0.01~315.84	117.31	109.14
	GE	Sigma HDx	1.5	1,787	0.02~284.36	108.47	100.94
	GE	Discovery	3.0	1,675	0.14~315.84	142.14	89.70
나은병원	Philips	Intera	1.5	1,406	0.10~260.48	103.97	101.94
	SIMENS	SONATA	1.5	1,700	0.09~284.36	81.10	90.09
나사렛국제병원	Hitachi	ECHELON	1.5	1,400	0.09~287.87	60.19	54.37
가천대길병원	SIMENS	Verio	3.0	1,705	0.10~510.18	182.47	150.17



[그림 11] 병원별, MRI 장비별 자기장 발생 수준

○ MRI 장비 고정 4개 지점별로 비교하면 P2(Bed의 환자기준 목, 머리 부분)가 다른 지점들에 비해서 일반적으로 가장 높게 나타났지만 모두 그렇지지는 않았다. 병원별, 장비별, 측정지점 모두 통합한 정자기장 분포는 큰 차이가 없다. 극단적으로 높은 피크 노출은 3.0 T 장비, P2 지점에서 높은 것으로 나타났다. 이 결과로 볼 때 단순히 MRI 4개 지점은 일반적으로 P2 지점에서 발생 수준이 가장 높지만 위치, 자세 등에 따라 단순화할 수 없다. 또한 촬영실을 들어가는 사람에 따라 위치를 특정할 수 없기 때문에 지점별로 일반화된 MRI 수준을 정하기가 어렵다.

○ 정자기장 발생 및 노출에 가장 크게 영향을 미치는 요인은 MRI 장비 정자기장 강도와 위치로 나타난다. 이러한 판단은 아래 (1)항부터 (7)항까지 분석한 개별 또는 층화 분석결과에 잘 나타난다. 2개 요인 중 장비의 정자기장 강도는 고정된 변수로 역학조사 설문대상자의 정자기 노출을 추정하는데 대입할 수 있을 것으로 판단한다. 반면 MRI 장비 위치(4개 지점)는 정자기장 발생에 유의한 요인이지만 사람에 따라 노출되는 위치가 달라 고정해서 대입할 수 있는 요인이다.

<표 14> 병원 및 MRI 장비 모델, 위치별 정자기장 발생 수준

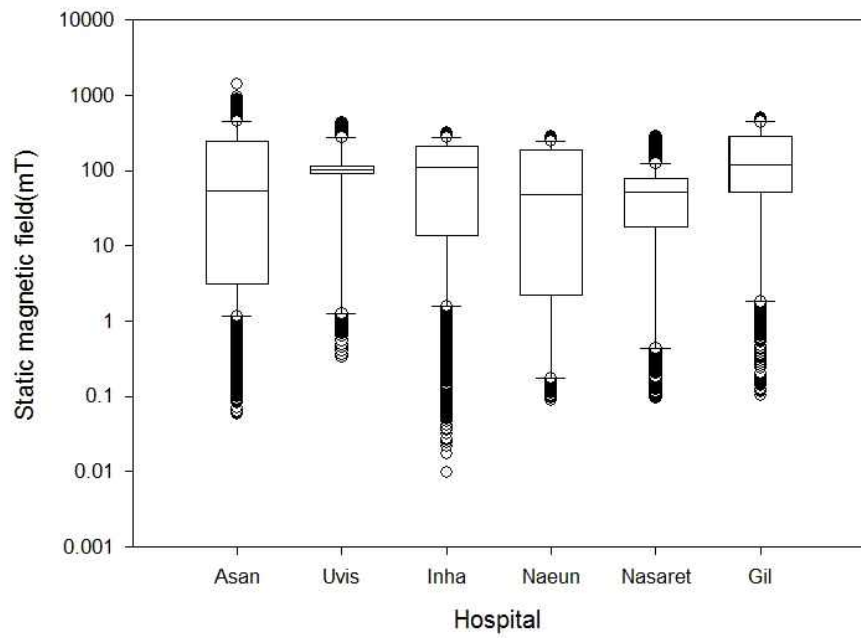
병원명	제조사	모델	정자기장 강도, T	P1, mT	P2, mT	P3, mT	P4, mT
아산병원	SIMENS	Avanto	1.5	372	960	23	2
	SIMENS	Skyra	3.0	612	1,914	74	20
	Philips	Achieva	1.5	377	1,049	41	17
	Philips	Ingenia	3.0	797	2,175	84	24
	Philips	Ingenia_cx	3.0	742	2,079	78	16
	Philips	Achieva	3.0	698	2,194	98	21
현대유비스병원	SIMENS	Essenza	1.5	306	947	15	9
인하대병원	GE	Infinity	1.5	33	633	13	5
	GE	Sigma HDx	1.5	50	609	19	6
	GE	Discovery	3.0	349	2,370	46	7
나은병원	Philips	Intera	1.5	431	1,100	14	4
	SIMENS	SONATA	1.5	760	1,070	26	6
나사렛국제병원	Hitachi	ECHELON	1.5	467	1,190	22	7
가천대길병원	SIMENS	Verio	3.0	450	1,840	49	6

(1) 병원별 비교

○ 6개 병원별 정자기장 수준을 나타냈다(표 15). 가장 높은 수준의 정자기장을 나타낸 병원은 가천대학교 길병원이었고 나사렛국제병원에서 가장 낮은 수준을 보였다. 그 외 병원별 정자기장 수준은 크게 차이나지 않았다. 전반적으로 다소 차이는 있지만 병원별 정자기장 발생수준의 차이는 유의미하지 않았다.

<표 15> MRI 병원별 정자기장 발생수준

병원명	모니터링 수	AM±SD, mT	기하평균, mT	기하표준편차	범위, mT
아산병원	44,960	144.60±188.29	28.04	10.44	0.06~1400.95
현대유비스병원	1,075	111.12±91.51	79.14	6.89	0.33~432.10
인하대병원	5,162	122.30±101.31	44.51	8.21	0.01~315.84
나은병원	3,106	91.45±96.31	23.92	7.60	0.09~284.36
나사렛국제병원	1,400	60.19±54.39	23.92	7.60	0.09~287.87
가천대길병원	1,705	182.47±150.17	53.47	5.82	0.10~510.18



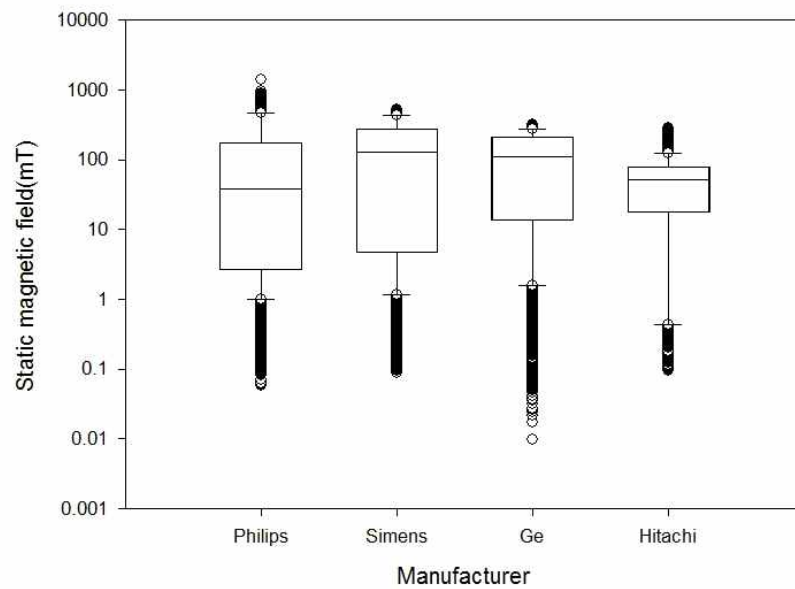
[그림 12] 병원별 MRI 정자기장 노출 수준

(2) 제조사별 비교

○ 4개 MRI 장비 제조사별 정자기장 수준을 (표 16)에 나타냈다. 제조사별 정자기장 수준은 SIMENS에서 가장 높았고, HITACHI가 가장 낮았다. 제조사별 정자기장 수준은 크게 차이나지 않았다. 전반적으로 차이는 있지만 유의미하지 않았다. 다만 모델에 따른 차이는 있다.

<표 16> MRI 제조사별 정자기장 발생수준

제조사	모니터링 수	AM±SD, mT	기하평균, mT	기하표준편차	범위, mT
Philips	32,866	130.41±193.73	22.53	10.25	0.01~1400.95
SIMENS	17,980	162.95±155.80	44.12	10.36	0.09~514.28
GE	5,162	122.30±101.31	44.51	8.21	0.06~315.84
HITACHI	1,400	60.19±54.37	23.92	7.60	0.09~287.87



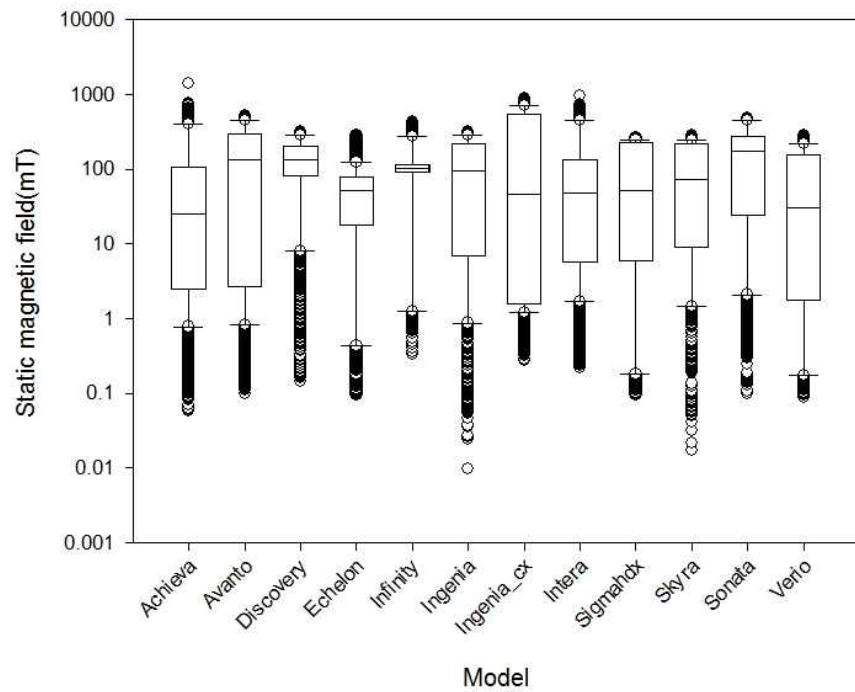
[그림 13] 제조사별 MRI 정자기장 발생수준

(3) 장비 모델별 비교

○ 장비 모델별 정자기장 수준은 Ingenia에서 가장 높았고 ECHELON에서 가장 낮았다. 그 외 병원별 정자기장 수준은 크게 차이나지 않았다. 다소 차이는 있지만 장비모델별 정자기장 발생수준의 차이는 유의미하지 않았다.

<표 17> MRI 장비 모델별 정자기장 발생수준

모델명	모니터링 수	AM±SD, mT	기하평균, mT	기하표준편차	범위, mT
Achieva	18,170	109.71±165.23	18.59	10.13	0.06~1400.95
Avanto	7,430	167.79±171.91	33.39	12.53	0.10~514.28
Discovery	1,675	142.14±89.70	81.97	4.91	0.14~315.84
ECHELON	1,400	60.19±54.37	23.92	7.60	0.09~287.87
essenza	1,075	111.12±91.51	53.47	5.82	0.33~432.10
Infinity	1,700	117.31±109.14	32.63	10.56	0.01~315.84
Ingenia	4,450	234.92±293.47	27.41	15.30	0.27~889.29
Ingenia_cx	8,840	124.55±178.57	30.40	7.52	0.22~957.20
Intera	1,406	103.97±101.94	22.06	14.00	0.10~260.48
Sigma HDx	1,787	108.47±100.94	33.73	8.59	0.02~284.36
Skyra	6,070	183.64±150.73	70.07	7.58	0.10~483.02
SONATA	1,700	81.10±90.09	14.07	13.49	0.09~284.36
Verio	1,705	182.47±150.17	79.14	6.89	0.10~510.18

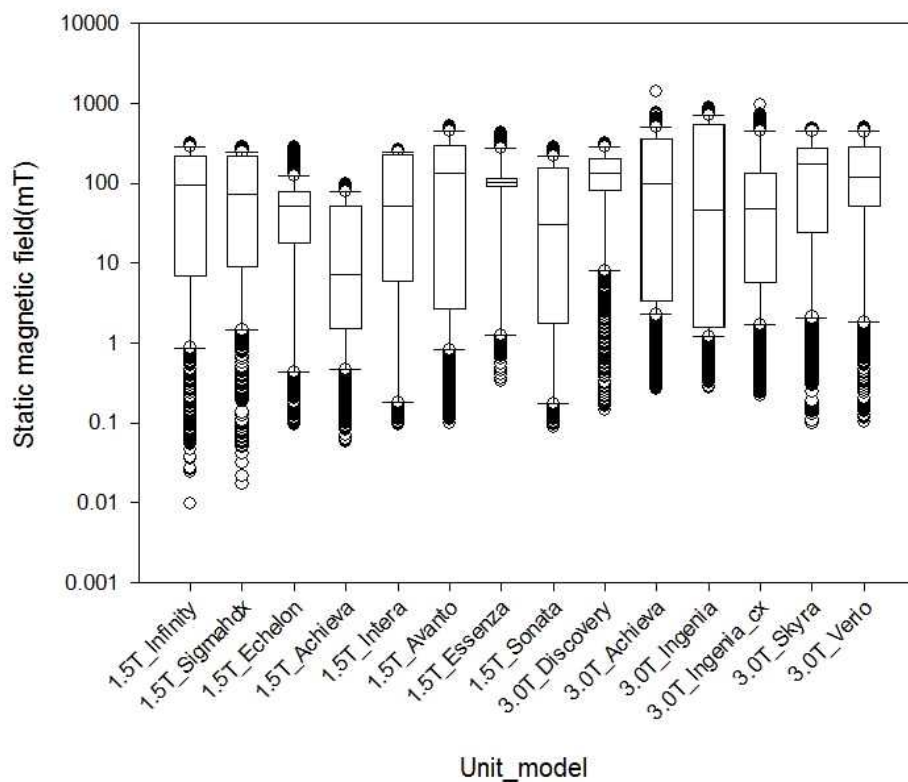


[그림 14] MRI 장비 모델별 정자기장 발생수준

(4) 장비 제조, 모델, 정자기장 강도별 비교

○ 장비 제조사, 장비 모델, 장비 정자기장 강도별 정자기장 발생 수준은 3.0 T장비가 1.5T에 비해 전반적으로 높게 나타났다. 1.5T 장비들 중 Siemens 제조사의 Avanto 장비가 평균 167.79 mT, 3.0T 장비들 중 Philips 제조사의 Ingenia 장비가 평균 234.92 mT 로 나타나 가장 높은 수준을 보였다.

○ 전반적으로 3.0 T 장비가 1.5 T에 비해 높은 정자기장 발생을 보였으나 일부 모델에서 1.5 T가 더 높은 수준을 보였다. 정자기장 강도별로 일반화된 값을 보이지 않은 것은 지점별로 발생수준의 차이가 영향을 미치기 때문이다.



[그림 15] MRI장비의 정자기장 강도별 모델별 정자기장 수준

<표 18> MRI 장비의 정자기장 강도별 장비 제조사별, 모델별 정자기장 발생수준

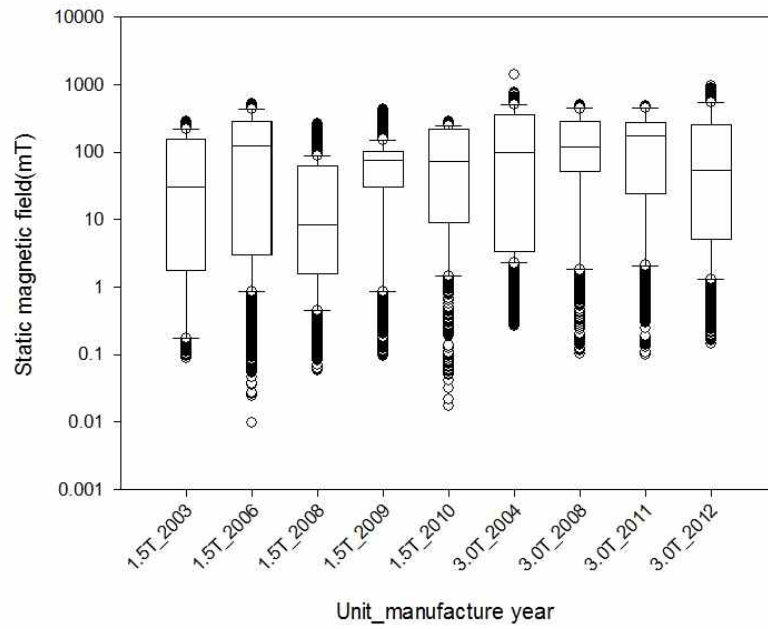
정자기장 강도, T	제조사	모델	모니터링 수	AM±SD, mT	기하평균, mT	기하표준편차	범위, mT
1.5	GE	Infinity	1,700	117.31±109.14	32.63	10.56	0.01~315.84
		Sigma HDx	1,787	108.47±100.94	33.73	8.59	0.02~284.36
	Hitachi	ECHELON	1,400	60.19±54.37	23.92	7.60	0.09~287.87
	Philips	Achieva	8,510	25.01±31.48	6.78	6.67	0.06~100.06
		Intera	1,406	103.97±101.94	22.06	14.00	0.10~260.48
	Siemens	Avanto	7,430	167.79±171.91	33.39	12.53	0.10~514.28
		essenza	1,075	111.12±91.51	53.47	5.82	0.33~432.10
		SONATA	1,700	81.10±90.09	14.07	13.49	0.09~284.36
3	GE	Discovery	1,675	142.14±89.70	81.97	4.91	0.14~315.84
	Philips	Achieva	9,660	184.33±196.45	45.19	9.84	0.27~1400.95
		Ingenia	4,450	234.92±293.47	27.41	15.30	0.27~889.29
		Ingenia_cx	8,840	124.55±178.57	30.40	7.52	0.22~957.20
	Siemens	Skyra	6,070	183.64±150.73	70.07	7.58	0.10~483.02
		Verio	1,705	182.47±150.17	79.14	6.89	0.10~510.18

(5) 장비 정자기장 강도별 제조년도별 비교

○ MRI 장비의 정자기장 강도별 장비 제조년도별 정자기장 수준을 표 19에 나타냈다. 3.0 T 장비들의 정자기장 수준이 1.5 T의 장비에 비해 대부분 높게 나타났다. 1.5 T 장비들 중 2006년 제조된 장비가 가장 높은 수준의 정자기장 노출을 보였으나, 3.0 T 장비들은 제조년도 별 정자기장 수준의 차이가 나타나지 않았다.

<표 19> MRI 장비 정자기장 강도별 제조년도별 정자기장 발생수준

정 자 기 장 강도, T	제조년도	모니터링 수	AM±SD, mT	기하평균, mT	기하표준편차	범위, mT
1.5	2003	1,700	81.10±90.09	14.07	13.49	0.09~284.36
	2006	9,130	158.39±163.26	33.25	12.14	0.01~514.28
	2008	9,916	36.21±55.52	8.02	7.86	0.06~260.48
	2009	2,475	82.31±77.11	33.92	7.08	0.09~432.10
	2010	1,787	108.47±100.94	33.73	8.59	0.02~284.36
3	2004	9,660	184.33±196.45	45.19	9.84	0.27~1400.95
	2008	1,705	182.47±150.17	79.14	6.89	0.10~510.18
	2011	6,070	183.64±150.73	70.07	7.58	0.10~483.02
	2012	14,965	159.34±218.62	32.94	9.37	0.14~957.20



[그림 16] MRI 장비 정자기장 강도별 제조년도별 정자기장 발생 수준

(6) 장비 제조사별, 모델별, 정자기장 강도별, 위치별 비교

○ 장비 제조사별, 모델별, 정자기장 강도별 측정위치별로 따른 정자기장 수준을 표 20에 나타내었다. 1.5T 장비에 비해 3.0T 장비의 정자기장 발생 수준이 높게 나타났고, 지점별로 보면 P2에서 가장 높게 나타난 것을 알 수 있다.

(7) 장비 정자기장 강도별 위치별 비교

○ 정자기장 발생수준에 영향을 미치는 주요 요인은 장비의 정자기장 강도(T)와 장비 위치인 것으로 판단한다. 장비 정자기장 강도별 위치별 정 자기장 수준을 표 16에 나타냈다. 3.0 T 장비의 P2 지점에서 가장 높은 수준의 정자기장 노출을 보였다.

○ 1.5 T 장비와 3.0 T 장비에서 측정 위치별 정자기장의 차이는 매우 큰 것으로 나타난다. 장비 침대부터 위치별(P1, P2, P3, P4)로 정자기장의 차이가 커서 일반화하기는 어려울 것으로 판단한다. 촬영실에 들어가서 활동하는 위치, 시간, 빈도 등에 따라 위치별 정자기장 수준의 차이는 MRI 장비의 정자기장 강도 때문이다. 이러한 결과에 근거하면 MRI 방사선사들의 정 자기장 노출에 영향을 주는 요인은 MRI 장비의 정자기장 발생수준과 장비 위치인 것으로 판단한다.

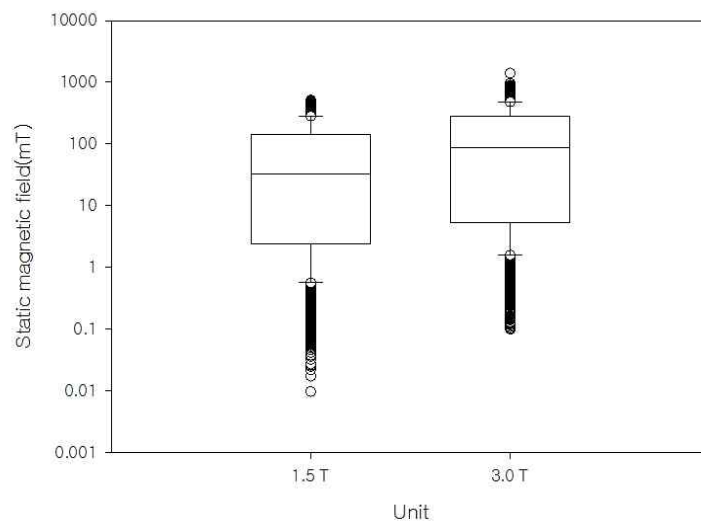
<표 20> MRI 장비의 정자기장 강도별 위치별 시뮬레이션 정자기장 발생수준

정자기장 강도, T	위치	모니터링 수	AM $\pm$ SD, mT	기하평균, mT	기하표준편차	범위, mT
1,500	P1	2,379	126.20 $\pm$ 71.81	109.31	1.68	59.07~260.48
	P2	2,333	340.09 $\pm$ 117.29	318.92	1.45	98.66~514.28
	P3	1,754	16.03 $\pm$ 14.45	12.58	1.86	3.56~77.17
	P4	1,972	4.29 $\pm$ 1.80	3.79	1.74	0.70~7.92
3,000	P1	2,304	198.56 $\pm$ 53.19	191.10	1.33	112.02~299.36
	P2	4,219	503.79 $\pm$ 138.23	485.13	1.32	270.04~1400.95
	P3	1,315	42.49 $\pm$ 13.95	38.73	1.64	9.71~56.61
	P4	2,340	3.48 $\pm$ 1.44	3.20	1.52	0.61~7.76

<표 21> MRI 장비별 위치별 시뮬레이션 정자기장 발생수준

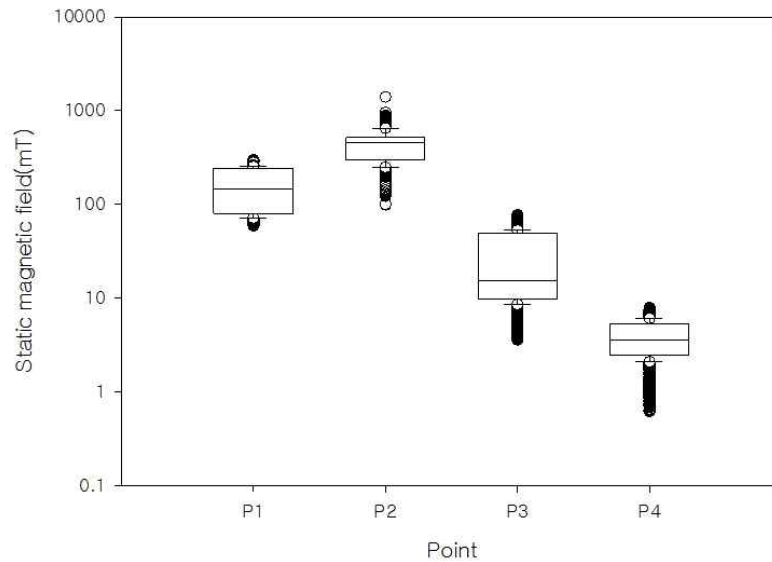
제조사	모델	정자기장 강도, T	모니터링 수				AM±SD, mT				기하평균, mT				기하표준편차			
			P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
SIMENS	Avanto4	1.5	561	899	250	462	245.12±8.22	479.24±23.64	47.37±13.25	4.52±0.84	244.98	478.64	45.62	4.45	1.03	1.05	1.31	1.19
SIMENS	Skyra5	3.0	554	770	116	185	250.07±3.87	459.59±11.84	42.86±6.43	5.35±1.04	250.04	459.44	42.39	5.25	1.02	1.03	1.16	1.21
Philips	Achieva2	1.5	132 5	47	849	744	72.65±5.93	99.40±0.39	9.64±1.26	5.87±0.77	72.40	99.40	9.56	5.83	1.09	1.00	1.13	1.14
Philips	Ingenia3	3.0	78	514	76	56	238.81±25.42	754.65±55.25	33.64±4.91	2.96±0.18	237.37	752.71	33.29	2.95	1.12	1.7	1.16	1.06
Philips	Ingenia_cx6	3.0	484	172 6	824	614	143.72±25.03	457.64±115.12	50.95±2.39	5.30±0.29	141.67	443.35	50.89	5.29	1.18	1.29	1.05	1.06
Philips	Achieva1	3.0	409	724	195	134 6	211.25±6.92	571.42±66.00	12.80±1.93	2.52±0.24	211.14	567.94	12.65	2.51	1.03	1.12	1.16	1.10
SIMENS	Essenza9	1.5	104	183	76	72	114.22±1.43	275.16±86.01	21.29±14.49	1.88±0.81	114.21	259.91	16.82	1.73	1.01	1.42	2.02	1.49
GE	Infinity11	1.5	106	300	98	297	108.06±2.14	286.92±9.26	15.32±0.76	2.69±1.76	108.04	286.77	15.30	2.18	1.02	1.03	1.05	1.94
GE	Sigma HDx12	1.5	67	329	283	38	157.88±6.57	251.06±7.62	8.44±2.98	3.16±0.22	157.75	250.95	7.88	3.15	1.04	1.03	1.47	1.07
GE	Discovery10	3.0	599	237	61	94	154.40±25.79	288.01±9.40	34.78±7.19	1.61±1.07	152.36	287.86	34.10	1.33	1.17	1.03	1.22	1.82
Philips	Intera7	1.5	49	245	91	46	203.05±6.25	249.81±3.19	11.37±1.48	1.79±0.74	202.96	249.79	11.27	1.64	1.03	1.01	1.14	1.53
SIMENS	SONATA8	1.5	75	303	78	189	135.01±9.65	231.84±23.62	13.11±2.39	2.37±0.47	134.66	230.64	12.87	2.32	1.07	1.11	1.22	1.22
Hitachi	ECHELON1 3	1.5	92	27	29	124	135.51±13.62	275.29±10.60	18.38±2.38	3.40±1.81	134.84	275.09	18.23	2.86	1.10	1.04	1.14	1.88
SIMENS	Verio14	3.0	180	248	43	45	288.16±6.29	451.13±36.29	40.66±0.22	4.46±1.43	288.10	449.59	40.66	4.23	1.02	1.09	1.01	1.39

○ 정자기장 발생수준에 영향을 미치는 주요 요인은 확인하기 위해 MRI장비들을 정자기장 강도(1.5 T, 3.0 T)로 분류하여 그림 17에 나타내었다. 상대적으로 3.0 T 장비들의 정자기장 발생수준이 높게 나타났다.



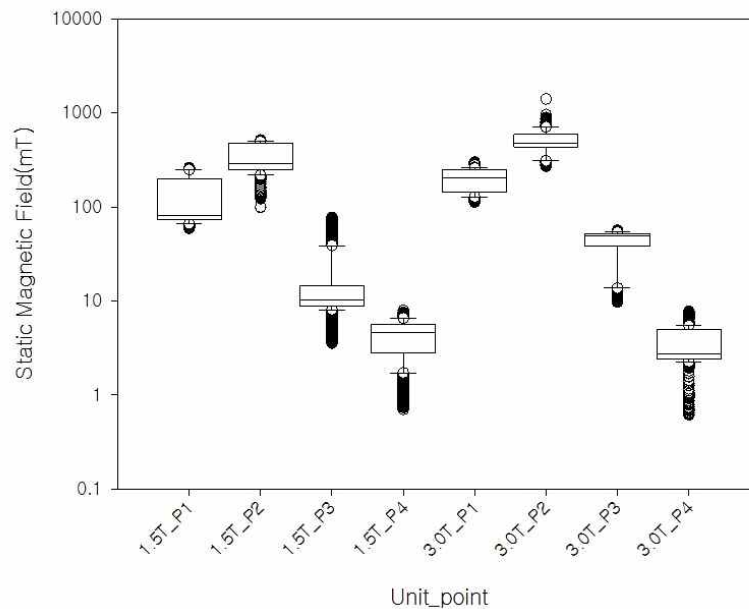
[그림 17] 장비 정자기장 강도별(T) 정자기장 수준 분포 (박스플롯, 피크노출 이상값이 많다.)

○ 정자기장 발생수준에 영향을 미치는 주요 요인은 확인하기 위해 MRI장비들을 측정위치별(P1, P2, P3, P4)로 분류하여 그림 18에 나타내었다. P2지점에서 가장 높은 정자기장 노출을 보였으며, P1, P3, P4의 순서대로 정자기장 노출 수준을 보였다.



[그림 18] 장비 측정위치별(P1, P2, P3, P4) 정자기장 수준 분포 (박스플롯, 피크노출 이상값이 많다.)

○ 정자기장 발생수준에 영향을 미치는 주요 요인을 증화하여 확인하기 위해 MRI장비들을 정자기장 강도 별(1.5 T, 3.0 T), 측정위치별(P1, P2, P3, P4)로 분류하여 그림 19에 나타내었다. 3.0 T 장비들의 P2지점에서 가장 높은 정자기장 노출을 보였으며, P1, P3, P4의 순서대로 정자기장 노출 수준을 보였다.



[그림 19] 장비 정자기장 강도별 위치별 정자기장 강도 분포 (박스플롯, 피크노출 이상값이 많다.)

○ 장비 침대 주변 위치별(P1, P2, P3, P4)로 다르고 P2 부분에서 정자기장의 발생이 높고 개인 노출에서 영향을 미칠 수 있다. 주요 이유와 역학조사에서 활용 가능성에 대해서 아래와 같이 정리하였다.

첫째, MRI장비 위치별 차이가 큰 원인은 Center-circle에서 정자기장이 발생되고 목 부분(P2)에 가까운 부위에 코일 설치 시 더욱 높은 수준의 자기장에 노출될 수 있다. 촬영부위에 따라 코일의 설치위치가 다르므로 정자기장 노출 수준의 차이가 있음을 유추할 수 있다. 이러한 활동별, 높이별로 차이가 클 수 있다.

둘째, 머리, 가슴 등은 무릎, 손목 등의 부위에 비해 MRI 촬영할 때 상대적으로 시간이 많이 걸리는 특징을 보인다. 현재 서울 아산병원 등 대형병원은 머리, 가슴 등의 부위를 주로 촬영하며, 중/소 병원은 무릎, 손목 등 촬영시간이 대체적으로 짧은 특징을 보인다. 만약, 역학조사에서 MRI 촬영실에서 위치별로 정확하게 머무는 활동과 시간을 파악하면 노출수준을 추정할 수 있다. 그러나 이를 일반화하기는 어렵다. 방사선사에게 직접 측정기기를 부착해야 하지만 프로브 등으로 실행하기가 어렵다. 또한 본 연구와 같이 역학연구 대상으로 위치별 정자기장의 노출수준을 추정하는 것은 불가능하다.

셋째, 환자의 건강상태이다. 일반 환자에 비해 입원환자가, 입원환자에 비해 중환자가 MRI 방사선사들의 에스코트함에 있어 시간 및 어려움이 따르므로 자기장 노출은 상대적으로 많다고 할 수 있다. 이 또한 병원 기록을 보거나, 설문을 통해 결과분석의 신뢰성을 높일 수 있다.

넷째, MRI 장비 정자기장 강도, 차폐막(Shield) 수준이 영향을 미칠 수 있다. MRI 장비의 Center-circle에서 발생하는 자기장의 수준은 동일하고 장비 본체(Magnet) 두께, 침대(Bed)의 길이 등 장비의 정자기장 강도가 영향을 줄 수 있다. 또한 MRI 촬영실(Scanner-room)과 조정실(Console-room)간의 차폐시설의 유무 및 성능이 영향을 미침. 그러나 이러한 요인도 역학조사의 방사선사의 노출을 추정하는데 일반화하는 것은 어렵다.

3. 역학조사 대상자 정자기장 과거 노출 수준 추정

○ 본 연구에서 규명한 방사선사의 정자기장 노출수준의 유의미한 차이를 나타낸 요인은 MRI 장비 정자기장 강도였다. 그 결과는 장비 강도별 평균 정자기장 발생수준의 차이는 2배 가량 차이가 난다.

- 1.5 T = 평균 94 mT, SD 125 mT
- 3.0 T = 평균 172 mT, SD 197 mT

○ 설문에서 방사선사의 취급 MRI 장비 정자기장 강도와 근무기간을 파악하여 개인별 누적 정자기장의 노출수준을 상대적으로 추정할 수 있다. 방사선사의 과거 정자기장 노출수준을 추정하기 위해서는 역학연구 대상 방사선사를 포함한 직종별로 MRI 장비 강도별 취급 기간, 근무기간, 1일 촬영실에 들어간 횟수 등을 종합해서 누적 노출수준을 추정할 수 있다(아래 사례 참조).

○ 역학연구 대상자를 대상으로 추정된 정자기장 노출수준 분포를 3분위로 분류하였다. 1분위에 속한 역학연구 대상자 그룹의 정자기장 노출수준을 “낮음”, 2분위에 속한 그룹을 “중간” 그리고 3분위에 속한 그룹을 “높음”으로 분류하였다. 분석에서 control 기준그룹으로 정자기장 노출되지 않은 의료인을 활용하면 된다. 또 방사선에 비해 상대적으로 정자기장에 낮게 노출되는 간호사, 의사 등을 “매우 낮음” 노출그룹으로 활용할 수 있다. 실제 촬영실에 들어간 빈도와 머문시간을 고려해서 누적 노출을 추정하고 이에 근거해서 노출수준을 분류할 수 있다.

○ 사례

- 모 방사선사가 10년 동안 5년은 1.5 T장비를 취급했고 5년은 3.0 T를 다루었다고 가정하였다. 1.5 T를 취급할 때 하루 평균 촬영실에는 6회 들어갔고 들어갈 때 마다 1.5분 정도 머물렀다고 가정하였다. 3 T 장비는 하루 평균 5회 들어갔고 들어갈 때 마다 1분 정도 머물렀다고 가정하였다.

아래와 같이 정자기장 누적 노출수준을 추정할 수 있다. 본 연구에서 장비 강도별 정 자기장 극 저주파 추정치 평균 1.5 T = 94 mT, 3.0 T = 172 mT를 적용하면 이 방사선사이 누적 MRI 노출수준은

- 1.5 T = 94 mT/1분 x 1.5분/1회 * 6회/1일 x 300일/1년 x 5년 = 1,269 T
- 3.0 T = 172 mT/1분 x 1분/1회 x 5회/1일 x 300일/1년 x 5년 = 1,290 T
- 1.5, 3.0 T 누적 노출 수준은 1,269 T + 1,290 T = 2,559 T

○ 설문에서 방사선사의 취급 MRI 장비 정자기장 강도, 근무기간, 촬영실 출입 특성을 파악하여 개인별 누적 정자기장 노출수준을 추정할 수 있다. 위에서 설명한 방법으로 추정한 개인 방사선사의 정자기장 극 저주파 노출수준의 분포를 3분위로 나열하여 1분위에 속한 그룹의 정자기장 노출수준을 “낮음”, 2분위에 속한 그룹은 “중간” 그리고 3분위에 속한 그룹을 “높음”으로 상대적으로 추정하였다.

○ 역학연구에 분석에 따라 대상자를 4분위로 분포를 파악해서 4개 그룹으로 정자기장 노출을 분류할 수 있다.

4. 설문조사 결과 분석 및 고찰

○ 설문조사는 대한방사선협회 소속의 연구원을 통해 전국의 접근 가능한 병의원 소속의 방사선사와 MRI 자기장에 노출되는 의료인 및 의료관련직 근로자를 대상으로 수행하였다. 설문대상자는 2016년 8월부터 9월까지 약 2개월간 모집하였다.

○ 설문조사 자료 분석 시점인 2016년 10월 30일 현재, 설문자로 등록한 설문참여자는 1130명이고, 총 3회의 설문 중 1회만을 완료한 설문참여자는 918명이고, 2회까지 완료한 설문참여자는 854명이며, 3회를 모두 완료한 설문참여자는 818명이다.

○ 본 연구에서는 3회의 설문을 모두 완료한 818명의 자료를 분석하였다. 이는 연구 설계 단계에서 MRI 자기장에 의한 급성 건강영향을 평가하기 위해서는 적어도 3회의 설문조사 횟수를 반영하는 것이 타당할 것으로 판단하였기 때문이다. 뿐만 아니라 총 3회의 설문을 모두 완료한 참여자는 그렇지 않은 참여자에 비해 불량응답이나 불성실한 설문결과의 등록 비율이 현저히 낮다는 점은, 상기 대상자 선정방식의 타당성을 뒷받침하고 연구결과의 정확성을 높일 것으로 판단한다. 통계분석은 IBM SPSS statistics v.22를 이용하였다.

○ 설문참여자는 연구 참여 설명문(부록 2)을 충분히 읽고, 연구 동의서(부록 3)에 동의 여부를 기입하며, 동의한 경우 모바일 웹사이트에 접속하여 응답자 직접 기입방식의 설문조사를 수행한다. 설문 내용은 부록 4와 같고, 모바일 웹사이트에 표현되는 방식은 부록 5와 같다.

○ 설문결과

① 설문참여자의 일반적 특성 (표 22)

- 성별은 남성(65.0%)이 여성(35.0%)에 비해 많았으며, 연령군은 20대가 가장 많았고, 평균 연령은 약 32세이다.

- 직무분포를 살펴보면 일반촬영방사선사가 42.4%로 가장 많았고, MRI방사선사, CT방사선사, 초음파방사선사 등의 순이다. 본 연구에서는 MRI방사선사를 자기장 노출의 주요 직업군으로 평가하였기 때문에, 설문대상자 모집에 있어 우선순위를 두어 빈도가 다른 방사선사 군에 비해 높게 나타났다.

- 총 근무기간은 5년 미만이 47.6%로 가장 많았고, 1일 근무시간은 9시간 이상 10시간 미만이라고 응답한 비율이 51.8%로 가장 많았다. 한편 20시간 이상 근무한다고 응답한 비율도 16.1%인데, 이는 방사선사의 다양한 근무형태에 의한 것으로 추정한다. 근무형태는 상근이 68.9%로 가장 많았고, 다음으로 2교대, 3교대 등의 순으로 나타났다.

<표 22> 설문참여자의 일반적 특성

요인	빈도	%	요인	빈도	%
성별			총 근무기간		
남성	532	65.0	< 5년	389	47.6
여성	286	35.0	5-10년	216	26.5
연령			10-15년	105	12.8
20-24세	76	9.3	≥ 15년	108	13.2
25-29세	292	35.7	1일 근무시간		
30-34세	194	23.7	< 9시간	99	12.1
35-39세	109	13.3	9-10시간	424	51.8
40-44세	65	7.9	10-15시간	112	13.7
45-49세	59	7.2	15-20시간	51	6.2
≥ 50세	23	2.8	≥ 20시간	132	16.1
평균	32.0±7.7세		근무형태		
직무			상근	564	68.9
일반촬영방사선사	347	42.4	2교대	113	13.8
MRI방사선사	207	25.3	3교대	88	10.7
CT방사선사	89	10.9	24시간 격일	16	2.0
초음파방사선사	47	5.7	불규칙	37	4.5
혈관조영방사선사	34	4.2	유병질환		
간호사	23	2.8	고혈압	43	5.3
치료방사선사	16	2.0	이상지질혈증	21	2.7
투시조영방사선사	14	1.7	암	10	1.2
PET방사선사	10	1.2	당뇨병	4	0.4
사무직	7	0.9	뇌졸중	0	0.0
의사	1	0.1	심근경색/협심증	0	0.0
기타	23	2.8	기타	15	1.8
총	818	100	총	818	100

② 설문참여자의 근무 전후 증상변화 (표 23, 24 25)

- 설문참여자는 근무시작 전과 근무종료 후에 각각 설문을 작성하는데, 이때 아래 표에 나열한 증상이 있는 경우 각 증상의 정도를 거의없음, 약간심함, 많이심함, 매우심함의 4가지로 구분하여 입력한다. 본 연구에서는 각 증상에 대한 근무와의 연관성 평가하기 위하여 다음과 같이 증상의 변화를 정의하였다.

- 변화없음 : 근무 전과 후에 모두 증상이 전혀 없는 경우(무/무)와 근무 전과 후에 증상은 있지만 정도의 변화가 없는 경우(유/유)이다.

- 악화 : 근무 전에 있던 증상이 악화되거나 완전 소실된 경우이다.

- 악화 : 근무 전에 있던 증상이 악화된 경우이다.

- 새로 발생 : 근무 전에 없던 증상이 새로 발생한 경우이다.

- 근무와 연관성 없음 : ‘변화없음’ 또는 ‘악화’의 경우이다.

- 근무와 연관성 있음 : ‘악화’ 또는 ‘새로 발생’의 경우이다.

- 이와 같은 정의에 따라, 각 경우의 빈도를 표에 정리하였다. 다만 이러한 결과는 증상의 변화에 연관성을 줄 수 있는 다른 변수를 통제하지 않은 결과로, 근무 전후의 증상변화를 보여주는 것으로 해석에 유의하여야 한다.

- 1회차 설문 결과(표 23), 근무와 연관성이 있는 증상은 피로감이 24.0%로 가장 많았고, 다음으로 집중력 감소(13.6%), 허리 통증(11.2%), 어깨 통증(10.3%), 목 통증(9.4%), 두통(9.4%) 등의 순으로 나타났다.

- 2회차 설문 결과(표 24), 근무와 연관성이 있는 증상은 피로감이 33.0%로 가장 많았고, 다음으로 집중력 감소(12.2%), 허리 통증(11.4%), 어깨 통증(10.3%), 목 통증(8.4%), 두통(7.3%) 등의 순으로 나타났다.

- 3회차 설문 결과(표 25), 근무와 연관성이 있는 증상은 피로감이 18.7%로 가장 많았고, 다음으로 집중력 감소(11.9%), 어깨 통증(10.1%), 목 통증(9.4%), 두통(9.3%), 허리 통증(8.7%), 등의 순으로 나타났다. 각 회차 설문에서, 빈도의 순서는 어느 정도 다르지만 유병 빈도가 가장 높은 5가지의 증상은 피로감, 집중력 감소, 어깨 통증, 목 통증, 두통이었다.

<표 23> 설문참여자의 근무 전후 증상변화 (1회차 설문 결과, 단위:명)

증상	변화없음		악화	악화	새로 발생	근무연관 없음(%)	근무연관 있음(%)
	무/무	유/유					
어지럼증	740	8	26	8	36	774(94.6)	44(5.4)
메스꺼움	795	3	10	0	10	808(98.8)	10(1.2)
이명	779	4	14	2	19	797(97.4)	21(2.6)
빛, 번쩍거림	801	1	11	0	5	813(99.4)	5(0.6)
쇠(철) 맛	809	0	5	0	4	814(99.5)	4(0.5)
두통	668	26	47	9	68	741(90.6)	77(9.4)
피로감	341	139	142	83	113	622(76.0)	196(24.0)
집중력 감소	650	19	38	12	99	707(86.4)	111(13.6)
구토	810	0	7	0	1	817(99.9)	1(0.1)
자세불균형	682	20	44	11	61	746(91.2)	72(8.8)
몽롱함/멍함	706	10	53	7	42	769(94.0)	49(6.0)
흐릿한 시야	736	15	30	3	34	781(95.5)	37(4.5)
이상한 냄새	810	0	4	0	4	814(99.5)	4(0.5)
저린 느낌	761	4	29	2	22	794(97.1)	24(2.9)
불수의 근육수축	806	2	6	1	3	814(99.5)	4(0.5)
목 통증	587	55	99	19	58	741(90.6)	77(9.4)
어깨 통증	571	65	98	21	63	734(89.7)	84(10.3)
팔 통증	754	7	27	4	26	788(96.3)	30(3.7)
손 통증	722	19	46	4	27	787(96.2)	31(3.8)
허리 통증	573	54	99	24	68	726(88.8)	92(11.2)
발/다리 통증	704	26	36	11	41	766(93.6)	52(6.4)
일시적 시력감소	753	5	39	2	19	797(97.4)	21(2.6)
눈 자극	665	22	63	4	64	750(91.7)	68(8.3)
피부 자극	803	2	7	0	6	812(99.3)	6(0.7)
열감/홍조	796	4	6	2	10	806(98.5)	12(1.5)
귀 통증	811	2	3	0	2	816(99.8)	2(0.2)
두근거림	781	3	22	1	11	806(98.5)	12(1.5)
청력감소	796	1	17	0	4	814(99.5)	4(0.5)
기타	803	3	6	0	6	812(99.3)	6(0.7)

<표 24> 설문참여자의 근무 전후 증상변화 (2회차 설문 결과, 단위:명)

증상	변화없음		약화	악화	새로 발생	근무연관 없음(%)	근무연관 있음(%)
	무/무	유/유					
어지럼증	757	9	18	3	31	784(95.8)	34(4.2)
메스꺼움	793	2	10	1	12	805(98.4)	13(1.6)
이명	799	2	5	1	11	806(98.5)	12(1.5)
빛, 번쩍거림	810	4	0	0	4	814(99.5)	4(0.5)
쇠(철) 맛	915	1	0	0	2	916(99.8)	2(0.2)
두통	709	14	35	6	54	758(92.7)	60(7.3)
피로감	414	120	96	75	113	630(77.0)	188(33.0)
집중력 감소	667	19	32	11	89	718(87.8)	100(12.2)
구토	814	0	2	0	2	816(99.8)	2(0.2)
자세불균형	752	9	17	0	40	778(95.1)	40(4.9)
몽롱함/멍함	729	11	39	2	37	779(95.2)	39(4.8)
흐릿한 시야	777	4	13	1	23	794(97.1)	24(2.9)
이상한 냄새	818	0	0	0	0	818(100)	0(0.0)
저린 느낌	791	0	7	1	19	798(97.7)	20(2.3)
불수의 근육수축	812	1	0	0	5	813(99.4)	5(0.6)
목 통증	672	41	38	8	61	751(91.6)	69(8.4)
어깨 통증	661	47	26	15	69	734(89.7)	84(10.3)
팔 통증	777	9	10	3	19	796(97.3)	22(2.7)
손 통증	759	10	14	3	32	783(95.7)	35(4.3)
허리 통증	652	32	41	14	79	725(88.6)	93(11.4)
발/다리 통증	738	13	19	5	43	770(94.1)	48(5.9)
일시적 시력감소	789	3	7	0	19	799(97.7)	19(2.3)
눈 자극	732	11	22	3	50	765(93.5)	53(6.5)
피부 자극	813	1	3	0	1	817(99.9)	1(0.1)
열감/홍조	802	3	1	1	11	806(98.5)	12(1.5)
귀 통증	814	1	1	0	2	816(99.8)	2(0.2)
두근거림	799	1	6	1	11	806(98.5)	12(1.5)
청력감소	812	1	1	0	4	814(99.5)	4(0.5)
기타	798	5	8	0	7	811(99.1)	7(0.9)

<표 25> 설문참여자의 근무 전후 증상변화 (3회차 설문 결과, 단위:명)

증상	변화없음		약화	악화	새로 발생	근무연관 없음(%)	근무연관 있음(%)
	무/무	유/유					
어지럼증	755	8	20	1	34	783(95.7)	35(4.3)
메스꺼움	797	3	6	0	12	806(98.5)	12(1.5)
이명	799	4	5	0	10	808(98.8)	10(1.2)
빛, 번쩍거림	806	1	3	0	8	810(99.0)	8(1.0)
쇠(철) 맛	813	1	2	0	2	816(99.8)	2(0.2)
두통	701	27	14	6	70	742(90.7)	76(9.3)
피로감	450	118	97	65	88	665(81.3)	153(18.7)
집중력 감소	674	18	29	8	89	721(88.1)	97(11.9)
구토	816	0	1	0	1	817(99.9)	1(0.1)
자세불균형	764	4	11	1	38	779(95.2)	39(4.8)
몽롱함/멍함	734	11	27	4	42	772(94.4)	46(5.6)
흐릿한 시야	784	2	8	1	223	794(97.1)	224(2.9)
이상한 냄새	815	0	0	0	3	815(99.6)	3(0.4)
저린 느낌	799	3	8	1	7	810(99.0)	8(1.0)
불수의 근육수축	814	1	0	0	3	815(99.6)	3(0.4)
목 통증	681	26	34	13	64	741(90.6)	77(9.4)
어깨 통증	662	42	31	19	64	735(89.9)	83(10.1)
팔 통증	779	10	8	1	20	797(97.4)	21(2.6)
손 통증	767	9	6	3	33	782(95.6)	36(4.4)
허리 통증	693	27	27	12	59	747(91.3)	71(8.7)
발/다리 통증	741	11	19	3	44	771(94.3)	47(5.7)
일시적 시력감소	797	1	3	1	16	801(97.9)	17(2.1)
눈 자극	736	8	24	5	45	768(93.9)	50(6.1)
피부 자극	815	0	0	0	3	815(99.6)	3(0.4)
열감/홍조	809	1	5	0	3	815(99.6)	3(0.4)
귀 통증	815	0	0	0	3	815(99.6)	3(0.4)
두근거림	806	1	6	0	5	813(99.4)	5(0.6)
청력감소	811	0	1	0	6	812(99.3)	6(0.7)
기타	801	8	6	0	3	815(99.6)	3(0.4)

③ 근무형태별 설문참여자의 일반적 특성 (표 26)

- 근무형태에 따른 증상 유병률의 차이를 알아보고자 다음과 같이 분석하였다. 특히 3교대 근무의 경우 낮근무(day), 저녁근무(evening), 밤근무(night)로 나뉘는데, 각 근무의 시점에 따른 증상 유병률의 차이를 알아보고자 한다.

- 분석대상은 상근 낮근무자 487명(3회의 설문에 입력한 근무시작 시간이 모두 오전 6시부터 오전 12시 이전으로 입력한 경우로 정의)과, 3교대 근무자 47명(3회의 설문에 낮근무(day), 저녁근무(evening), 밤근무(night)를 각 1회씩 모두 입력한 경우로 정의)이다.

- 성별은 상근 낮근무자에 비해 3교대 근무자의 남성 비율이 더 높았고, 연령군은 상근 낮근무자의 경우 20대가 가장 많았고(47.6%), 3교대 근무자는 30대가 가장 많았으며(44.7%), 평균 연령은 상근 낮근무자가 약 32.4세로 3교대 근무자(31.2세)에 비해 많았다.

- 직무분포를 살펴보면 상근 낮근무자는 일반촬영방사선사가 43.5%로 가장 많았고, MRI방사선사, CT방사선사, 초음파방사선사 등의 순으로 나타났다. 3교대 근무자는 일반촬영방사선사와 MRI방사선사가 40.4%로 가장 많았다. 앞에서 언급한 바와 같이 본 연구에서는 MRI방사선사를 자기장 노출의 주요 직업군으로 평가하였기 때문에, 설문대상자 모집에 있어 우선순위를 두어 빈도가 다른 방사선사 군에 비해 상대적으로 높게 나타났다.

- 총 근무기간은 5년 미만인 경우가 상근 낮근무자(45.8%)와 3교대 근무자(46.8%)에서 모두 가장 많았다.

<표 26> 근무형태별 설문참여자의 일반적 특성 (단위 : 명)

요인	상근_낮근무		3교대 근무	
	빈도	%	빈도	%
성별				
남성	284	58.3	34	72.3
여성	203	41.7	13	27.7
연령				
20-29세	232	47.6	20	42.6
30-39세	164	33.7	21	44.7
≥ 40세	91	18.7	6	12.8
평균	32.4±7.9세		31.2±6.0세	
직무				
일반촬영방사선사	212	43.5	19	40.4
MRI방사선사	75	15.4	19	40.4
CT방사선사	57	11.7	2	4.3
초음파방사선사	43	8.8	0	0
혈관조영방사선사	28	5.7	0	0
치료방사선사	13	2.7	0	0
투시조영방사선사	10	2.1	0	0
PET방사선사	10	2.1	0	0
간호사	12	2.5	7	14.9
사무직	6	1.2	0	0
기타	21	4.3	0	0
총 근무기간				
< 5년	223	45.8	22	46.8
5-10년	121	24.8	15	31.9
10-15년	63	12.9	6	12.8
≥ 15년	80	16.4	4	8.5
총	487	100	47	100

④ 근무형태별 설문참여자의 업무관련 특성 (표 27)

- 1일 근무시간은 설문을 입력한 당일의 근무시간을 의미하기 때문에, 상근 낮근무자와 3교대 근무자 모두 10시간 미만 근무한 경우가 가장 많았지만, 10시간 이상 근무하였다고 응답한 비율도 높았다. 이는 방사선사 근무형태의 불규칙성, 설문에 대한 잘못된 이해와 응답 등을 원인으로 고려할 수 있다.

- 근무 전 음주는 야간근무자가 23.4%로 가장 높게 나타났다. 소독약/살균제 사용여부, 세정제/세척제 사용여부, 업무강도는 각각 표 27과 같은 분포로 나타났다.

<표 27> 근무시간대별 설문참여자의 업무관련 특성 (단위 : 명)

요인	상근_낮**		3교대_D**		3교대_E**		3교대_N**	
	빈도*	%	빈도	%	빈도	%	빈도	%
1일 근무시간								
< 9시간	170	11.6	20	42.6	20	42.6	10	21.3
9-10시간	799	54.7	12	25.5	11	2.4	20	42.6
10-15시간	241	16.5	6	12.8	6	12.8	8	17.0
15-20시간	8	0.5	3	6.4	5	10.6	7	14.9
≥ 20시간	243	16.6	6	12.8	5	10.6	2	4.3
근무 전 음주								
안했다	1080	73.9	34	72.3	37	78.7	36	76.6
했다	381	26.1	13	27.7	10	21.3	11	23.4
소독약/살균제 사용								
안했다	734	50.2	18	38.3	20	42.6	22	46.8
했다	727	49.8	29	61.7	27	57.4	25	53.2
세정제/세척제 사용								
안했다	831	56.9	13	27.7	18	38.3	24	51.1
했다	630	43.1	34	72.3	29	61.7	23	48.9
업무강도								
아주 약하다	438	30.0	7	14.9	7	14.9	11	23.4
중등도	763	52.2	27	57.4	29	61.7	21	44.7
강하다	208	14.2	10	21.3	8	17.0	12	25.5
아주강하다	52	3.6	3	6.4	3	6.4	3	6.4
총	1461*	100	47	100	47	100	47	100

* 상근 낮근무자 487명의 3회 설문을 분석한 결과이다(487*3=1461).

** 상근_낮은 상근 낮근무자, 3교대 중 D는 낮근무자(day), E는 저녁근무자(evening), N은 야간근무자(night)를 의미한다.

⑤ 근무형태별 설문참여자의 근무 전후 증상변화 (표 28)

- 근무와 연관성이 있는 증상을 근무형태별로 구분하여 분석하였다. 교차 분석을 통한 카이제곱 검정에서 통계적으로 유의미한 차이를 보이는 ($p\text{-value}<0.05$) 증상은 피로감, 집중력 감소, 몽롱함/명함, 허리 통증이었다.

- 피로감은 가장 높은 유병률을 보인 증상으로, 근무형태별 증상 유병률은 상근 낮근무자가 18.8%, 3교대 낮근무자가 36.2%, 3교대 저녁근무자가 40.4%, 3교대 야간근무자가 36.2%로 나타나, 상근 낮근무자에 비해 3교대 근무자의 유병률이 높았다.

- 집중력 감소는 피로감 다음으로 높은 유병률을 보인 증상으로, 근무형태별 증상 유병률은 상근 낮근무자가 10.2%, 3교대 낮근무자가 12.8%, 3교대 저녁근무자가 17.0%, 3교대 야간근무자가 21.3%로 나타나, 3교대 야간근무자의 유병률이 가장 높았다.

- 몽롱함/명함의 근무형태별 증상 유병률은 상근 낮근무자가 3.1%, 3교대 낮근무자가 6.4%, 3교대 저녁근무자가 12.8%, 3교대 야간근무자가 10.6%로 나타나, 3교대 저녁근무자의 유병률이 가장 높았다.

- 허리통증의 근무형태별 증상 유병률은 상근 낮근무자가 9.0%, 3교대 낮근무자가 21.3%, 3교대 저녁근무자가 25.5%, 3교대 야간근무자가 17.0%로 나타나, 3교대 저녁근무자의 유병률이 가장 높았다.

<표 28> 근무시간대별 설문참여자의 근무 전후 증상변화

증상	상근_낮				3교대_D				3교대_E				3교대_N			
	근무연관 없음(회,%)		근무연관 있음(회,%)		근무연관 없음(명,%)		근무연관 있음(명,%)		근무연관 없음(명,%)		근무연관 있음(명,%)		근무연관 없음(명,%)		근무연관 있음(명,%)	
어지럼증	1411	96.6	50	3.4	45	95.7	2	4.3	44	93.6	3	6.4	43	91.5	4	8.5
메스꺼움	1445	98.9	16	1.1	47	100.0	0	0.0	46	97.9	1	2.1	45	95.7	2	4.3
이명	1439	98.5	22	1.5	46	97.9	1	2.1	46	97.9	1	2.1	47	100.0	0	0.0
빛, 번쩍거림	1455	99.6	6	0.4	47	100.0	0	0.0	47	100.0	0	0.0	47	100.0	0	0.0
쇠(철) 맛	1457	99.7	4	0.3	47	100.0	0	0.0	47	100.0	0	0.0	47	100.0	0	0.0
두통	1350	92.4	111	7.6	43	91.5	4	8.5	43	91.5	4	8.5	44	93.6	3	6.4
피로감*	1187	81.2	274	18.8	30	63.8	17	36.2	28	59.6	19	40.4	30	63.8	17	36.2
집중력 감소*	1312	89.8	149	10.2	41	87.2	6	12.8	39	83.0	8	17.0	37	78.7	10	21.3
구토	1459	99.9	2	0.1	47	100.0	0	0.0	47	100.0	0	0.0	47	100.0	0	0.0
자세불균형	1364	93.4	97	6.6	45	95.7	2	4.3	44	93.6	3	6.4	47	100.0	0	0.0
몽롱함/멍함*	1416	96.9	45	3.1	44	93.6	3	6.4	41	87.2	6	12.8	42	89.4	5	10.6
흐릿한 시야	1417	97.0	44	3.0	46	97.9	1	2.1	47	100.0	0	0.0	46	97.9	1	2.1
이상한 냄새	1458	99.8	3	0.2	47	100.0	0	0.0	47	100.0	0	0.0	47	100.0	0	0.0

저린 느낌	1429	97.8	32	2.2	45	95.7	2	4.3	45	95.7	2	4.3	46	97.9	1	2.1
불수의 근육수축	1454	99.5	7	0.5	47	100.0	0	0.0	47	100.0	0	0.0	47	100.0	0	0.0
목 통증	1325	90.7	136	9.3	42	89.4	5	10.6	39	83.0	8	17.0	44	93.6	3	6.4
어깨 통증	1324	90.6	137	9.4	42	89.4	5	10.6	40	85.1	7	14.9	42	89.4	5	10.6
팔 통증	1413	96.7	48	3.3	44	93.6	3	6.4	45	95.7	2	4.3	47	100.0	0	0.0
손 통증	1399	95.8	62	4.2	46	97.9	1	2.1	43	91.5	4	8.5	44	93.6	3	6.4
허리 통증*	1330	91.0	131	9.0	37	78.7	10	21.3	35	74.5	12	25.5	39	83.0	8	17.0
발/다리 통증	1370	93.8	91	6.2	44	93.6	3	6.4	42	89.4	5	10.6	45	95.7	2	4.3
일시적 시력감소	1424	97.5	37	2.5	47	100.0	0	0.0	46	97.9	1	2.1	47	100.0	0	0.0
눈 자극	1358	93.0	103	7.0	44	93.6	3	6.4	46	97.9	1	2.1	43	91.5	4	8.5
피부 자극	1453	99.5	8	0.5	47	100.0	0	0.0	47	100.0	0	0.0	47	100.0	0	0.0
열감/홍조	1441	98.6	20	1.4	47	100.0	0	0.0	47	100.0	0	0.0	47	100.0	0	0.0
귀 통증	1457	99.7	4	0.3	47	100.0	0	0.0	47	100.0	0	0.0	47	100.0	0	0.0
두근거림	1451	99.3	10	0.7	47	100.0	0	0.0	47	100.0	0	0.0	47	100.0	0	0.0
청력감소	1457	99.7	4	0.3	47	100.0	0	0.0	47	100.0	0	0.0	47	100.0	0	0.0
기타	1452	99.4	9	0.6	47	100.0	0	0.0	47	100.0	0	0.0	47	100.0	0	0.0
총	1461회**	100%					47명	100%			47명	100%			47명	100%

* P-Value <0.05, **상근 낮근무자 487명의 3회 설문을 분석한 결과(487*3=1461)

⑥ 자기장 노출군과 비노출군의 일반적 특성(표 29, 33, 37)

- 노출군은 설문입력 해당 근무 시에 MRI 기기실에만 출입하고 다른 영상기기는 다루지 않은 근로자를 대상으로 선정하였다. 그리고 비노출군은 설문입력 해당 근무 시에 영상기기를 전혀 다루지 않은 근로자를 대상으로 선정하였다. 덧붙여, 1일 MRI 기기실 체류시간이 5시간 이상으로 입력하였거나 그 외 다른 설문에 대한 응답이 연구자가 판단하기에 다소 불성실한 설문은 제외하였다.

- 각 설문 회차의 자기장 노출군과 비노출군의 일반적 특성은 표 29(1회차 설문), 표 33(2회차 설문), 표 37(3회차 설문)에 나타내었다. 노출군과 비노출군의 설문참여자 수는 1회차가 201명 및 311명, 2회차가 194명 및 360명, 3회차가 185명 및 395명 이었다.

- 설문 회차와 관계없이 비노출군에 비해 노출군의 남성 비율, 연령, 총 근무기간, 상근 외 근무형태(2교대, 3교대, 24시간 격일근무, 불규칙 근무), 업무강도가 통계적으로 유의미하게 높았고($p < 0.05$), 이 외에 1일 근무시간, 근무 전 음주 여부, 영상 기기실에서의 소독약/살균제 및 세정제/세척제 사용 여부는 설문 회차에 따라 다르게 나타났다.

⑦ 자기장 노출군의 정자기장 급성 노출량 (표 30, 34, 38)

- 앞의 박동욱 교수의 연구 결과에 따라 정자기장의 누적 노출량은 다음 계산식을 통해 추정할 수 있다. 정자기장 크기별 상수(1.5T는 94 mT/분, 3.0T는 172mT/분) x MRI 영상기기실 1회 출입당 체류시간(분/회) x 하루 출입 일수(회/일) x 연간 근무일수(일/년) x 근무연수. 여기서 연간 근무일수와 근무연수를 제외한 나머지 변수를 사용하여, 정자기장의 급성 노출량을 다음의 계산식으로 추정할 수 있다.

- 정자기장 크기별 상수(1.5T는 94 mT/분, 3.0T는 172mT/분) x MRI 영상기기실 1회 출입당 체류시간(분/회) x 하루 출입 일수(회/일)

- 예를 들어, 근로자가 1.5T의 MRI 기기실에서의 체류시간이 하루에 1시간이라면, 94mT/일/60분으로 나타낼 수 있다. 이와 같은 계산에 따라 자기장 노출군의 정자기장 급성 노출량을 표 30, 34, 38에 나타내었다.

- 설문 회차와 관계 없이 172 (mT/일/60분) (3.0T MRI 기기실에서 하루에 1시간 체류)의 빈도가 가장 높았고, 다음으로 172 초과, 94(1.5T MRI 기기실에서 하루에 1시간 체류), 141(1.5T MRI 기기실에서 하루에 1.5시간 체류)의 순으로 빈도가 높았다.

⑧ 자기장 노출군과 비노출군의 근무 전후 증상 변화 (표 31, 35, 39)

- 앞서 정의한 것처럼, 근무 전에 비해 근무 종료 후에 증상이 ‘악화’ 되거나 근무 전에 없던 증상이 근무 종료 후에 ‘새로 발생’한 경우를 ‘근무와 연관성이 있는’ 경우로 간주하였다.

- 1회차 설문 결과 근무와 연관성이 있는 증상 중에서 노출군과 비노출군의 차이가 통계적으로 유의하게 나타난($p < 0.05$)증상은 어지럼증, 메스꺼움, 피로감, 집중력 감소, 몽롱함/멍함, 목 통증, 눈 자극으로 나타났다.

- 2회차 설문 결과 근무와 연관성이 있는 증상 중에서 노출군과 비노출군의 차이가 통계적으로 유의하게 나타난($p < 0.05$)증상은 어지럼증, 이명, 빛 번쩍거림, 두통, 피로감, 집중력 감소, 몽롱함/멍함, 흐릿한 시야, 목 통증, 어깨 통증, 허리 통증, 발/다리 통증, 일시적 시력감소, 눈 자극, 청력감소로 나타났다.

- 3회차 설문 결과 근무와 연관성이 있는 증상 중에서 노출군과 비노출군의 차이가 통계적으로 유의하게 나타난($p < 0.05$)증상은 어지럼증, 두통, 피로감, 집중력 감소, 자세 불균형, 흐릿한 시야, 목 통증, 어깨 통증, 일시적 시력감소, 눈 자극, 청력감소, 피로도증가(VAS, visual analogue scale)로 나타났다.

- 모든 설문 회차에서, 근무와 연관성이 있는 증상 중 노출군과 비노출군의 차이가 통계적으로 유의하게 나타난($p < 0.05$)증상은 어지럼증, 피로감, 집중력 감소, 목통증, 눈 자극으로 나타났다.

⑨ 로지스틱 회귀분석을 통한 자기장 노출군과 비노출군의 근무 전후 증상 변화 분석 (표 32, 36, 40)

- 보정 변수는 연령, 성별, 직무, 총 근무기간, 1일 근무시간, 근무 형태, 근무 전 음주, 소독약/살균제 사용여부, 세정제/세척제 사용여부, 업무강도이다.

- 1회차 설문 결과 근무와 연관성이 있는 증상 중에서 노출군과 비노출군의 차이가, 95%를 신뢰구간으로 가정하였을 때 통계적으로 유의한 교차비(OR, odds ratio)를 보이는 증상은 어지럼증, 피로감, 집중력 감소, 몽롱함/명함, 목 통증, 눈 자극으로 나타났다. 위에서 언급한 변수를 보정한 후에 통계적으로 유의한 교차비(OR, odds ratio)를 보이는 증상은 어지럼증, 피로감, 집중력 감소, 흐릿한 시야, 몽롱함/명함, 목 통증, 눈 자극으로 나타났다.

- 2회차 설문 결과 근무와 연관성이 있는 증상 중에서 노출군과 비노출군의 차이가, 95%를 신뢰구간으로 가정하였을 때 통계적으로 유의한 교차비(OR, odds ratio)를 보이는 증상은 어지럼증, 두통, 피로감, 집중력 감소, 몽롱함/명함, 흐릿한 시야, 목 통증, 어깨 통증, 허리 통증, 일시적 시력감소, 눈 자극으로 나타났다. 위에서 언급한 변수를 보정한 후에 통계적으로 유의한 교차비(OR, odds ratio)를 보이는 증상은 어지럼증, 두통, 피로감, 집중력 감소, 몽롱함/명함, 흐릿한 시야, 목 통증, 어깨 통증, 허리 통증, 발/다리 통증, 일시적 시력감소, 눈 자극으로 나타났다.

- 3회차 설문 결과 근무와 연관성이 있는 증상 중에서 노출군과 비노출군의 차이가, 95%를 신뢰구간으로 가정하였을 때 통계적으로 유의한 교차비(OR, odds ratio)를 보이는 증상은 어지럼증, 두통, 피로감, 집중력 감소, 자세 불균형, 목 통증, 어깨 통증, 허리 통증, 일시적 시력감소, 눈 자극으로 나타났다. 위

에서 언급한 변수를 보정한 후에 통계적으로 유의한 교차비(OR, odds ratio)를 보이는 증상은 어지럼증, 집중력 감소, 몽롱함/멍함, 흐릿한 시야, 목 통증, 어깨 통증, 허리 통증, 발/다리 통증, 일시적 시력감소, 눈 자극으로 나타났다.

- 모든 설문 회차에서, 근무와 연관성이 있는 증상 중 노출군과 비노출군의 차이가, 95%를 신뢰구간으로 가정하였을 때 통계적으로 유의한 교차비(OR, odds ratio)를 보이는 증상은 어지럼증, 두통, 피로감, 집중력 감소, 목 통증, 눈 자극으로 나타났다. 위에서 언급한 변수를 보정한 후에 통계적으로 유의한 교차비(OR, odds ratio)를 보이는 증상은 어지럼증, 피로감, 집중력 감소, 목 통증, 눈 자극으로 나타났다.

⑩ 결과에 대한 고찰

- 모든 설문 회차에서, 근무와 연관성이 있는 증상 중 노출군과 비노출군의 차이가 통계적 유의성을 보인 증상은 어지럼증, 피로감, 집중력 감소, 목통증, 눈 자극이다.

- 근무와 연관성이 있는 증상을 근무형태별로 구분하여 분석하였다. 교차분석을 통한 카이제곱 검정에서 통계적으로 유의미한 차이를 보이는 ($p\text{-value}<0.05$) 증상은 피로감, 집중력 감소, 몽롱함/명함, 허리 통증이었다. 3교대 근무의 경우 낮근무, 저녁근무, 야간근무에 따라 증상 유병률이 다르게 나타나는 것에 대한 명확한 근거는 선행연구에서 밝혀진 바가 없다. 다만, 이러한 결과와 교대근무라는 근무형태에서 유발되는 직무스트레스나 일주기리듬(circadian rhythm)의 교란에 의한 생체리듬변화와의 관련성에 대한 연구의 필요성을 제시할 수 있겠다.

- 어지럼증은 의학적으로 Dizziness 와 Vertigo 로 표현할 수 있는데, 이 두 증상은 임상 진찰을 통해 평가하지 않으면 실제 구분이 매우 어렵기 때문에 결과의 해석에 상당한 한계점을 가진다. 다만, 어지럼증은 전정신경계(vestibular nerve system, 신체의 균형감각을 유지 및 통제하는 신경계)의 손상이나 질병에 대한 평가가 반드시 필요한 증상이기 때문에 중요한 의미를 갖는다. 자기장의 직업적 노출의 건강영향에 대한 연구는 많지 않지만, Antunes A(2012) 등이 자기장에 의한 전정신경계의 압력을 계산한 연구결과를, 자기장 노출의 어지럼증 유발에 대한 개연성을 보이며 이에 따라 그 기전에 대한 연구의 필요성도 제시한다고 평가할 수 있다.

- 피로감은 피로에 대한 주관적이고 비특이적인 증상으로, 노출군과 비노

출군의 차이가 통계적 유의성을 보였지만, 피로감을 정도에 따라 0점부터 10점까지 시각적으로 선택하는 도구인 VAS(visual analogue scale)를 통해 평가하였을 때에는 통계적 유의성이 없었다. 집중력 감소도 비특이적인 증상이며, 이에 대한 해석은 이후의 연구결과를 통해 간접적으로 유추할 수 있다.

- 목 통증 및 눈 자극 증상과 자기장 노출의 연관성에 대한 문헌결과는 찾지 못하였다. 다만 노출군의 주요 직종인 MRI 방사선사는, 비노출군의 주요 직종인 일반촬영방사선사에 비해 모니터를 보는 시간이 길기 때문에 이러한 결과로 나타났을 것으로 추정할 수 있다.

- 이 연구에서 설문 조사를 통해 얻은 증상에 대한 정보는, 향후 건강과 관련한 2차 자료와의 연계를 통한 연구의 필요성을 제시한다는 것에 그 의미가 있다고 할 수 있다. 각 증상에 대하여 선행연구에서 밝혀진 기전이 다소 제한적이라는 한계점을 가지고 있지만 현재 세계적으로 활발히 진행되고 있는 연구 결과들에 의해서 상당 부분 보완이 될 가능성이 충분하다. 이러한 한계점에도 향후 연구에서 밝혀질 자기장에 대한 직업적 노출과 연관된 질환의 초기 증상으로서, 질환을 조기에 발견하고 중재할 수 있는 근거를 제공하는 기초 자료로서 의의를 갖는다.

<표 29> 자기장 노출군과 비노출군의 일반적 특성 (1회차 설문 결과)

요인	노출군		비노출군		P value
	빈도	%	빈도	%	
성별					
남성	154	76.6	187	60.1	.000
여성	47	23.4	124	39.9	
연령					
20-29세	47	23.4	168	54.0	.000
30-39세	88	43.8	97	31.2	
≥ 40세	66	32.8	46	14.8	
평균	36.0±7.7세		31.2±7.8세		
직무					
일반촬영방사선사	19	9.5	199	64.0	.000
MRI방사선사	174	86.6	19	6.1	
CT방사선사	0	0	13	4.2	
초음파방사선사	0	0	9	2.9	
혈관조영방사선사	1	0.5	15	4.8	
투시조영방사선사	1	0.5	8	2.6	
PET방사선사	0	0	3	1.0	
치료방사선사	0	0	10	3.2	
간호사	5	2.5	14	4.5	
사무직	0	0	6	1.9	
기타	1	0.5	15	4.8	
총 근무기간					
< 5년	49	24.4	158	50.8	.000
5-10년	47	23.4	84	27.0	
10-15년	48	23.9	32	10.3	
≥ 15년	57	28.4	37	11.9	
1일 근무시간					
< 9시간	30	14.9	40	12.9	.630
9-10시간	101	50.2	152	48.9	
10-15시간	24	11.9	39	12.5	
15-20시간	16	8.0	19	6.1	
≥ 20시간	30	14.9	61	19.6	
근무형태					

상근	104	51.7	219	70.4	
2교대	23	12.9	46	14.8	
3교대	44	21.9	32	10.3	.000
24시간 격일	9	4.5	3	1.0	
불규칙	18	9.0	11	3.5	
근무 전 음주					
안했다	133	66.2	224	72.0	
했다	68	33.8	87	28.0	.159
소독약/살균제 사용					
안했다	72	35.8	141	45.3	
했다	129	64.2	170	54.7	.033
세정제/세척제 사용					
안했다	86	42.8	151	48.6	
했다	115	57.2	160	51.4	.201
업무강도					
아주 약하다	30	14.9	88	28.3	
중등도	140	69.7	158	50.8	
강하다	26	12.9	51	16.4	.000
아주강하다	5	2.5	14	4.5	
총	201명	39.3%	311명	60.7%	

<표 30> 노출군의 정자기장 급성 노출량 (1회차 설문 결과)

노출량 (mT/일/60분)	빈도	%
94	51	25.4
141	10	5.0
172	81	40.3
188-860	59	29.3
평균	196.7±113.5	
총	201명	100%

<표 31> 자기장 노출군과 비노출군의 근무 전후 증상 변화 (1회차 설문 결과)

증상	노출군		비노출군		P value
	빈도	%	빈도	%	
어지럼증	21	10.4	14	4.5	.009
메스꺼움	5	2.5	0	0.0	.005
이명	8	4.0	10	3.2	.646
빛, 번쩍거림	2	1.0	2	0.6	.659
쇠(철) 맛	2	1.0	0	0.0	.078
두통	23	11.4	27	8.7	.304
피로감	66	32.8	62	19.9	.001
집중력 감소	40	19.9	37	11.9	.013
구토	0	0.0	1	0.3	.421
자세불균형	20	10.0	22	7.1	.247
몽롱함/멍함	18	9.0	13	4.2	.027
흐릿한 시야	10	5.0	7	2.3	.093
이상한 냄새	1	0.5	2	0.6	.833
저린 느낌	4	2.0	11	3.5	.311
불수의 근육수축	0	0.0	3	1.0	.163
목 통증	29	14.4	19	6.1	.002
어깨 통증	23	11.4	24	7.7	.154
팔 통증	4	2.0	6	1.9	.961
손 통증	5	2.5	10	3.2	.633
허리 통증	28	13.9	30	9.6	.135
발/다리 통증	7	3.5	18	5.8	.237
일시적 시력감소	7	3.5	6	1.9	.275
눈 자극	24	11.9	17	5.5	.008
피부 자극	1	0.5	1	0.3	.755
열감/홍조	1	0.5	5	1.6	.254
귀 통증	2	1.0	0	0.0	.078
두근거림	5	2.5	5	1.6	.482
청력감소	2	1.0	2	0.6	.659
기타	0	0.0	4	1.3	.106
피로도증가(VAS)	150	74.6	209	67.2	.073

<표 3> 자기장 노출군과 비노출군의 근무 전후 증상 변화에 대한
로지스틱 회귀분석(1회차 설문 결과)

증상	Unadjusted		Adjusted**	
	OR	95% CI	OR	95% CI
어지럼증	2.48	1.23-4.99	2.94	1.30-6.68
메스꺼움	*		*	
이명	1.25	0.48-3.22	1.33	0.47-3.74
빛, 번쩍거림	1.55	0.22-11.11	2.06	0.10-42.39
쇠(철) 맛	*		*	
두통	1.36	0.76-2.44	1.76	0.88-3.50
피로감	1.96	1.31-2.94	2.03	1.29-3.20
집중력 감소	1.84	1.13-3.00	2.08	1.20-3.60
구토	*		*	
자세불균형	1.45	0.77-2.74	1.62	0.79-3.29
몽롱함/멍함	2.26	1.08-4.71	2.19	0.97-4.93
흐릿한 시야	2.27	0.85-6.08	3.60	1.06-12.22
이상한 냄새	0.77	0.07-8.58	0.94	0.03-28.11
저린 느낌	0.55	0.17-1.76	0.52	0.15-1.80
불수의 근육수축	*		*	
목 통증	2.59	1.41-4.76	2.54	1.25-5.18
어깨 통증	1.55	0.85-2.82	1.58	0.80-3.10
팔 통증	1.03	0.29-3.70	1.67	0.32-8.86
손 통증	0.77	0.26-2.28	0.61	0.18-2.08
허리 통증	1.52	0.88-2.62	1.68	0.91-3.11
발/다리 통증	0.59	0.24-1.43	0.82	0.30-2.26
일시적 시력감소	1.83	0.61-5.54	1.94	0.56-6.72
눈 자극	2.35	1.27-4.49	2.92	1.39-6.14
피부 자극	1.55	0.10-24.92	3.09	0.01-713.89
열감/홍조	0.31	0.04-2.64	0.72	0.07-7.64
귀 통증	*		*	
두근거림	1.56	0.45-5.46	1.58	0.39-6.36
청력감소	1.55	0.22-11.11	1.92	0.21-17.97
기타	*		*	
피로도증가(VAS)	1.44	0.97-2.13	1.45	0.93-2.27

* 관측빈도가 낮은 증상; ** 보정변수는 81쪽에 제시하였음

<표 33> 자기장 노출군과 비노출군의 일반적 특성 (2회차 설문 결과)

요인	노출군		비노출군		P value
	빈도	%	빈도	%	
성별					
남성	149	76.8	222	61.7	.000
여성	45	23.2	138	38.3	
연령					
20-29세	45	23.2	197	54.7	.000
30-39세	90	46.4	114	31.7	
≥ 40세	59	30.4	49	13.6	
평균	35.8±7.8세		31.0±7.4세		
직무					
일반촬영방사선사	18	9.3	220	61.1	.000
MRI방사선사	172	88.7	24	6.7	
CT방사선사	1	0.5	24	6.7	
초음파방사선사	0	0.0	9	2.5	
혈관조영방사선사	0	0.0	19	5.3	
투시조영방사선사	1	0.5	8	2.2	
PET방사선사	0	0.0	6	1.7	
치료방사선사	0	0.0	13	3.6	
간호사	2	1.0	15	4.2	
사무직	0	0.0	6	1.7	
기타	0	0.0	16	4.9	
총 근무기간					
< 5년	47	24.2	190	52.8	.000
5-10년	49	25.3	90	25.0	
10-15년	47	24.2	39	10.8	
≥ 15년	51	26.3	41	11.4	
1일 근무시간					
< 9시간	27	13.9	60	16.7	.341
9-10시간	93	47.9	165	45.8	
10-15시간	27	13.9	56	15.6	
15-20시간	23	11.9	26	7.2	
≥ 20시간	24	12.4	53	14.7	
근무형태					

상근	101	52.1	268	74.4	
2교대	31	16.0	47	13.1	
3교대	36	18.6	30	8.3	.000
24시간 격일	8	4.1	2	0.6	
불규칙	18	9.3	13	3.6	
근무 전 음주					
안했다	137	70.6	273	75.8	
했다	57	29.4	87	24.2	.182
소독약/살균제 사용					
안했다	85	43.8	180	50.0	
했다	109	56.2	180	50.0	.164
세정제/세척제 사용					
안했다	97	50.0	214	59.4	
했다	97	50.0	146	60.6	.033
업무강도					
아주 약하다	43	22.2	116	32.2	
중등도	123	63.4	170	47.2	
강하다	23	11.9	59	15.8	.004
아주강하다	5	2.6	17	4.7	
총	194명	100%	360명	100%	

<표 34> 노출군의 정자기장 급성 노출량 (2회차 설문 결과)

노출량 (mT/일/60분)	빈도	%
94	44	22.7
141	14	7.2
172	76	39.2
188-774	60	30.9
평균	198.3±110.6	
총	194명	100%

<표 35> 자기장 노출군과 비노출군의 근무 전후 증상 변화 (2회차 설문 결과)

증상	노출군		비노출군		P value
	빈도	%	빈도	%	
어지럼증	14	7.2	12	3.3	.039
메스꺼움	3	1.5	7	1.9	.737
이명	5	2.6	2	0.6	.042
빛, 번쩍거림	3	1.5	0	0.0	.018
쇠(철) 맛	2	1.0	0	0.0	.054
두통	20	10.3	17	4.7	.012
피로감	62	32.0	70	19.4	.001
집중력 감소	41	21.1	22	6.1	.000
구토	1	0.5	0	0.0	.173
자세불균형	12	6.2	13	3.6	.164
몽롱함/멍함	17	8.8	11	3.1	.003
흐릿한 시야	13	6.7	4	1.1	.000
이상한 냄새	0	0.0	0	0.0	-
저린 느낌	5	2.6	7	1.9	.625
불수의 근육수축	2	1.0	0	0.0	.054
목 통증	26	13.4	20	5.6	.001
어깨 통증	30	15.5	31	8.6	.014
팔 통증	3	1.5	8	2.2	.586
손 통증	4	2.1	13	3.6	.313
허리 통증	33	17.0	34	9.4	.009
발/다리 통증	4	2.1	25	6.9	.014
일시적 시력감소	11	5.7	3	0.8	.001
눈 자극	23	11.9	12	3.3	.000
피부 자극	0	0.0	1	0.3	.462
열감/홍조	1	0.5	5	1.4	.343
귀 통증	2	1.0	0	0.0	.054
두근거림	5	2.6	3	0.8	.101
청력감소	4	2.1	0	0.0	.006
기타	1	0.5	5	1.4	.343
피로도증가(VAS)	139	71.6	234	65.0	.111

<표 36> 자기장 노출군과 비노출군의 근무 전후 증상 변화에 대한
로지스틱 회귀분석(2회차 설문 결과)

증상	Unadjusted		Adjusted**	
	OR	95% CI	OR	95% CI
어지럼증	2.26	1.02-4.98	3.07	1.15-8.14
메스꺼움	0.79	0.20-3.10	0.73	0.16-3.27
이명	4.74	0.91-24.64	4.77	0.83-27.48
빛, 번쩍거림	*		*	
쇠(철) 맛	*		*	
두통	2.32	1.19-4.54	2.32	1.08-4.99
피로감	1.95	1.31-2.90	2.30	1.44-3.67
집중력 감소	4.12	2.37-7.15	4.46	2.36-8.43
구토	*		*	
자세불균형	1.76	0.79-3.94	2.15	0.86-5.36
몽롱함/멍함	3.05	1.40-6.65	4.30	1.75-10.57
흐릿한 시야	6.39	2.06-19.89	5.77	1.54-21.68
이상한 냄새	*		*	
저린 느낌	1.33	0.42-4.26	1.23	0.34-4.43
불수의 근육수축	*		*	
목 통증	2.63	1.43-4.85	2.83	1.39-5.76
어깨 통증	1.94	1.14-3.32	1.96	1.06-3.65
팔 통증	0.69	0.18-2.64	1.25	0.58-2.71
손 통증	0.56	0.18-1.75	0.59	0.15-2.41
허리 통증	1.97	1.17-3.29	1.87	1.06-3.32
발/다리 통증	0.28	0.10-0.82	3.22	1.99-5.22
일시적 시력감소	7.15	1.97-25.96	9.24	1.88-45.38
눈 자극	3.90	1.90-8.03	4.26	1.91-9.47
피부 자극	*		*	
열감/홍조	0.37	0.04-3.17	0.92	0.09-9.15
귀 통증	*		*	
두근거림	3.15	0.74-13.32	2.17	0.44-10.79
청력감소	*		*	
기타	0.37	0.04-3.17	0.36	0.04-3.55
피로도증가(VAS)	1.36	0.93-1.99	1.32	0.85-2.04

* 관측빈도가 낮은 증상; ** 보정변수는 81쪽에 제시하였음

<표 37> 자기장 노출군과 비노출군의 일반적 특성 (3회차 설문 결과)

요인	노출군		비노출군		P value
	빈도	%	빈도	%	
성별					
남성	146	78.9	245	62.0	.000
여성	39	21.1	150	38.0	
연령					
20-29세	42	22.7	211	53.4	.000
30-39세	83	44.9	127	32.2	
≥ 40세	60	32.4	57	14.4	
평균	36.0±7.7세		31.3±7.7세		
직무					
일반촬영방사선사	15	8.1	239	60.5	.000
MRI방사선사	162	87.6	34	8.6	
CT방사선사	1	0.5	26	6.6	
초음파방사선사	0	0.0	11	2.8	
혈관조영방사선사	1	0.5	18	4.6	
투시조영방사선사	1	0.5	9	2.3	
PET방사선사	0	0.0	7	1.8	
치료방사선사	0	0.0	12	3.0	
간호사	3	1.6	17	4.3	
사무직	0	0.0	6	1.5	
기타	4	2.2	16	4.1	
총 근무기간					
< 5년	43	23.2	203	51.4	.000
5-10년	47	25.4	96	24.3	
10-15년	43	23.2	50	12.7	
≥ 15년	52	28.1	46	11.6	
1일 근무시간					
< 9시간	26	14.1	56	14.2	.027
9-10시간	94	50.8	180	45.6	
10-15시간	26	14.1	58	14.7	
15-20시간	20	10.8	24	6.1	
≥ 20시간	19	10.3	77	19.5	
근무형태					

상근	105	56.8	293	74.2	
2교대	38	20.5	61	15.4	
3교대	24	13.0	29	7.3	.000
24시간 격일	4	2.2	2	0.5	
불규칙	14	7.6	10	2.5	
근무 전 음주					
안했다	128	69.2	307	77.7	
했다	57	30.8	88	22.3	.027
소독약/살균제 사용					
안했다	81	43.8	251	63.5	
했다	104	56.2	144	36.5	.000
세정제/세척제 사용					
안했다	99	53.5	256	64.8	
했다	86	46.5	139	35.2	.009
업무강도					
아주 약하다	46	24.9	155	39.2	
중등도	109	58.9	161	40.8	
강하다	21	11.4	59	14.9	.001
아주강하다	9	4.9	20	5.1	
총	185명	100%	395명	100%	

<표 38> 노출군의 정자기장 급성 노출량 (3회차 설문 결과)

노출량 (mT/일/60분)	빈도	%
94	42	22.7
141	14	7.6
172	72	38.9
188-688	57	30.8
평균	199.1±109.6	
총	185명	100%

<표 39> 자기장 노출군과 비노출군의 근무 전후 증상 변화 (3회차 설문 결과)

증상	노출군		비노출군		P value
	빈도	%	빈도	%	
어지럼증	14	7.6	12	3.0	.014
메스꺼움	2	1.1	6	1.5	.673
이명	6	3.2	4	1.0	.054
빛, 번쩍거림	4	2.2	2	0.5	.066
쇠(철) 맛	1	0.5	1	0.3	.582
두통	26	14.1	27	6.8	.005
피로감	55	29.7	59	14.9	.000
집중력 감소	36	19.5	33	8.4	.000
구토	0	0	0	0	-
자세불균형	13	7.0	10	2.5	.010
몽롱함/멍함	15	8.1	20	5.1	.151
흐릿한 시야	10	5.4	9	2.3	.049
이상한 냄새	1	0.5	1	0.3	.582
저린 느낌	3	1.6	2	0.5	.176
불수의 근육수축	1	0.5	1	0.3	.582
목 통증	23	12.4	24	6.1	.009
어깨 통증	25	13.5	28	7.1	.012
팔 통증	6	3.2	8	2.0	.373
손 통증	8	4.3	15	3.8	.762
허리 통증	18	9.7	27	6.8	.225
발/다리 통증	6	3.2	19	4.8	.386
일시적 시력감소	10	5.4	6	1.5	.008
눈 자극	22	11.9	17	4.3	.001
피부 자극	0	0.0	2	0.5	.332
열감/홍조	1	0.5	1	0.3	.582
귀 통증	1	0.5	1	0.3	.582
두근거림	2	1.1	0	0.0	.038
청력감소	5	2.7	0	0.0	.001
기타	0	0.0	2	0.5	.332
피로도증가(VAS)	140	75.7	242	61.3	.001

<표 40> 자기장 노출군과 비노출군의 근무 전후 증상 변화에 대한
로지스틱 회귀분석(3회차 설문 결과)

증상	Unadjusted		Adjusted**	
	OR	95% CI	OR	95% CI
어지럼증	2.61	1.18-5.77	2.92	1.20-7.12
메스꺼움	0.71	0.14-3.55	0.53	0.09-3.29
이명	3.28	0.91-11.76	3.00	0.74-12.16
빛, 번쩍거림	4.34	0.79-23.93	1.86	0.26-13.17
쇠(철) 맛	2.14	0.13-34.42	2.64	0.11-63.34
두통	2.23	1.26-3.94	1.92	0.99-3.70
피로감	2.41	1.58-3.67	2.19	1.34-3.57
집중력 감소	2.65	1.59-4.41	2.23	1.24-4.01
구토	*		*	
자세불균형	2.91	1.25-6.77	4.05	1.44-11.40
몽롱함/멍함	1.65	0.83-3.31	1.56	0.70-3.50
흐릿한 시야	2.45	0.98-6.14	1.84	0.58-5.86
이상한 냄새	2.14	0.13-34.42	4.20	0.10-173.20
저린 느낌	3.24	0.54-19.55	2.09	0.23-18.84
불수의 근육수축	2.14	0.13-34.42	1.97	0.08-51.12
목 통증	2.20	1.20-4.00	1.94	0.98-3.83
어깨 통증	2.05	1.16-3.62	1.98	1.02-3.85
팔 통증	1.62	0.55-4.74	0.79	0.21-3.03
손 통증	1.15	0.48-2.75	0.66	0.24-1.77
허리 통증	1.47	0.79-2.74	1.18	0.57-2.45
발/다리 통증	0.66	0.26-1.69	0.64	0.22-1.87
일시적 시력감소	3.71	1.33-10.35	2.22	0.66-7.48
눈 자극	3.00	1.55-5.80	2.09	1.00-4.37
피부 자극	*		*	
열감/홍조	2.14	0.13-34.42	3.83	0.08-192.06
귀 통증	2.14	0.13-34.42	1.35	0.02-88.22
두근거림	*		*	
청력감소	*		*	
기타	*		*	
피로도증가(VAS)	1.97	1.33-2.91	1.66	1.06-2.62

* 관측빈도가 낮은 증상; ** 보정변수는 81쪽에 제시하였음

5. 활용방안 및 기대성과

○ 국내 MRI 관련 근로자(주로 MRI 방사선사)의 자기장 노출 정도 및 이에 따른 건강 영향 실태 파악으로 근로자 건강관리 대책의 기초자료로 활용한다.

○ 모니터링 시스템을 구축으로 자기장 노출과 관련된 근로자의 건강 문제를 장기적으로 추적관찰 할 수 있는 기반을 확보하였다.(대상자는 계속 추기할 예정)

○ 연구성과는 학술 논문 게재 및 발표하여, 정보의 공유와 교육에 기여하고, 궁극적으로 국가 정책과 제도의 개선에 이바지할 수 있다. 또한 이와 관련된 후속사업을 통해 추가적인 연구성과를 기대할 수 있다.

참고문헌

- [1] 자기공명영상학, 일조각, pp.355-357
- [2] McRobbie DW, “Occupational exposure in MRI” , Br J Radiol, 2012, 85:293 - 312.
- [3] Yamaguchi-Sekino S, Sekino M, Ueno S. “Biological effects of electromagnetic fields and recently updated safety guidelines for strong static magnetic fields“, Magn Reson Med Sci, 2011,10:1 - 10.
- [4] Environmental Health Criteria (2006), Static fields, Geneva: World Health Organization, Monograph, vol. 232.
- [5] IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans(2002) Non-ionizing radiation, Part 1: Static and extremely low-frequency(ELF) electric and magnetic fields. Lyon: International Agency for Research on Cancer, Monograph, vol. 8.
- [6] www.icnirp.org
- [7] www.fda.gov/cdrh/ode/primerf6.html
- [8] Schenck JF “Safety of strong, static magnetic fields”. J Magn Reson Imaging 2000, 12:2-19.
- [9] Bongers S, Slottje P, Kromhout H. Long-term exposure to static magnetic fields in MRI manufacturing and risk of developing hypertension, Occupational and Environmental Medicine 73(Suppl 1):A213.3-A214 September 2016
- [10] Bongers S, Slottje P, Portengen L, Kromhout H. Exposure to static magnetic fields and risk of accidents among a cohort of workers from a

medical imaging device manufacturing facility. *Magn Reson Med.* 2016;75(5):2165-74.

[11] Mousavidoust S, Mobasheri H, Riazi GH, Effects of static magnetic fields on the structure, polymerization, and bioelectric of tubulin assemblies. *J Biomol Struct Dyn.* 2016;28:1-14.

[12] Albuquerque WW, Costa RM, Fernandes Tde S, Porto AL. Evidences of the static magnetic field influence on cellular systems. *Prog Biophys Mol Biol.* 2016;121(1):16-28.

[13] Elferchichi M, Mercier J, Ammari M, Belguith H, Abdelmelek H, Sakly M, Lambert K. Subacute static magnetic field exposure in rat induces a pseudoanemia status with increase in MCT4 and Glut4 proteins in glycolytic muscle. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2016;23(2):1265-73.

[14] Gungor HR Akkaya S, Ok N, Yorukoglu A, Yorukoglu C, Kiter E, Oguz EO, Keskin N, Mete GA. Chronic Exposure to Static Magnetic Fields from Magnetic Resonance Imaging Devices Deserves Screening for Osteoporosis and Vitamin D Levels: A Rat Model. *Int J Environ Res Public Health.* 2015;12(8):8919-32.

[15] Aguila J, Cudeiro J, Rivadulla C. Effects of Static Magnetic Fields on the Visual Cortex: reversible Visual Deficits and Reduction of Neuronal Activity. *Cereb Cortex.* 2016;26(2):628-38.

[16] A Survey of the Potential Impact of the European Union Physical Agents Directive (EU PAD) on Electromagnetic Fields (EMF) on MRI Research Practice in the United Kingdom

[17] 반도체 제조 근로자의 극저주파 자기장 노출 평가, 한국산업위생학회지, 제22권 제1호(2012)22(1): 42-51

[18] 한국방송통신대학교(2015), 산업보건관리수준 평가 및 개선방안 도출,

SK 하이닉스, 2015

[19] Abdollahzadeh et al, A Model for Assessing Occupational Exposure to Extremely Low-Frequency Magnetic Fields in Fabrication Rooms in the Semiconductor Health Study, American Journal of Industrial Medicine 28:723-734

[20] Joseph et al., A Population-Based Job Exposure Matrix for Power-Frequency Magnetic Fields, Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 2007, 4:9, 715-728

[21] Maria Christopoulou et al. EVALUATION OF OCCUPATIONAL EXPOSURE TO ELF MAGNETIC FIELDS AT POWER PLANTS IN GREECE IN THE CONTEXT OF EUROPEAN DIRECTIVES, Radiation Protection Dosimetry (2015), pp. 1-11

[22] Occupational exposure of dentists to ELF magnetic field, JOH 2011, 53, 130-136

[23] Pivi Roivainen et al. Occupational Exposure to Intermediate frequency and Extremely Low Frequency Magnetic Fields Among Personnel Working near Electronic Article Surveillance Systems, Bioelectromagnetics 35:245~250 (2014)

[24] Baker, P. N., Johnson, I. R., Harvey, P. R., Gowland, P. A., & Mansfield, P. (1994). A three-year follow-up of children imaged in utero with echo-planar magnetic resonance. American journal of obstetrics and gynecology, 170(1), 32-33.

[25] Myers, C., Duncan, K. R., Gowland, P. A., Johnson, I. R., & Baker, P. N. (1998). Failure to detect intrauterine growth restriction following in utero exposure to MRI. The British journal of radiology, 71(845), 549-551.

[26] Choi, J. S., Ahn, H. K., Han, J. Y., Han, Y. J., Kwak, D. O.,

Velazquez-Armenta, E. Y., & Nava-Ocampo, A. A. (2015). A case series of 15 women inadvertently exposed to magnetic resonance imaging in the first trimester of pregnancy. *Journal of Obstetrics and Gynaecology*, 35(8), 871-872.

[27] Reeves, M. J., Brandreth, M., Whitby, E. H., Hart, A. R., Paley, M. N., Griffiths, P. D., & Stevens, J. C. (2010). Neonatal Cochlear Function: Measurement after Exposure to Acoustic Noise during in Utero MR Imaging 1. *Radiology*, 257(3), 802-809.

[28] Yip, Y. P., Capriotti, C., Talagala, S. L., & Yip, J. W. (1994). Effects of MR exposure at 1.5 T on early embryonic development of the chick. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 4(5), 742-748.

[29] Glover, P., Hykin, J., Gowland, P., Wright, J., Johnson, I., & Mansfield, P. (1995). An assessment of the intrauterine sound intensity level during obstetric echo-planar magnetic resonance imaging. *The British journal of radiology*, 68(814), 1090-1094.

[30] Saunders, R. (2005). Static magnetic fields: animal studies. *Progress in biophysics and molecular biology*, 87(2), 225-239.

[31] Tyndall, D. A., & Sulik, K. K. (1991). Effects of magnetic resonance imaging on eye development in the C57BL/6J mouse. *Teratology*, 43(3), 263-275.

[32] Levine, D., Zuo, C., Faro, C. B., & Chen, Q. (2001). Potential heating effect in the gravid uterus during MR HASTE imaging. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 13(6), 856-861.

[33] ICNIRP (International Commission on Non-Ionization Radiation Protection) - 2009(static field)

[34] McRobbie, D. W. (2014). Occupational exposure in MRI. *The British*

journal of radiology.

[35] Health and Safety Executive, update from the EMF working party meeting, 17th September 2010. Available from: <http://www.hse.gov.uk/aboutus/europe/euronews/dossiers/emf.htm>. Accessed 28 September 2010.

[36] American National Standards Institute/Institute of Electrical and Electronic Engineers (ANSI/IEEE), Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz.

[37] Capstick, M., McRobbie, D., Hand, J., Christ, A., Kuhn, S., Hanson Mild, K., ... & Prüssmann, K. (2008). An investigation into occupational exposure to electromagnetic fields for personnel working with and around medical magnetic resonance imaging equipment. Report on Project VT/2007/017 of the European Commission, DG Employment, Social Affairs and Equal Opportunities <http://www.myesr.org/html/img/pool/VT2007017FinalReportv04.pdf>.

[38] National Radiological Protection Board. Advice on limiting exposure to electromagnetic fields (0 - 300 GHz). Documents of the NRPB. Didcot, UK: National Radiological Protection Board; 2004.

[39] International Electrotechnical Commission. (2002). Medical electrical equipment-Part 2-33: Particular requirements for the safety of magnetic resonance equipment for medical diagnosis. International Electrotechnical Commission.

[40] Miller, A. B., To, T., Agnew, D. A., Wall, C., & Green, L. M. (1996). Leukemia following occupational exposure to 60-Hz electric and magnetic fields among Ontario electric utility workers. American Journal of

Epidemiology, 144(2), 150-160.

[41] Tynes, T., Andersen, A., & Langmark, F. (1992). Incidence of cancer in Norwegian workers potentially exposed to electromagnetic fields. *American Journal of Epidemiology*, 136(1), 81-88.

[42] Shenck JF "Health and physiological effects of human exposure to whole-body 4 Tesla magnetic fields during MRI. *Ann NY Acad Sci*, 1992, 649:285-301.

[43] Kleinman MH, Shevchenko T, Bohne C, "Magnetic field effects on the dynamics of radical pairs: the partition effects in vesicles", *Photochem Photobiol* 1998, 68:710-718.

[44] Scaiano JC, Cozens FL, McLean L "Model for the rationalization of magnetic fields effects in vivo. Application of the radicalpair mechanism to biological systems" *Photochem Photobiol* 1994, 59:585-589.

[45] Scaiano JC, Cozens FL, Mohtat N "Influence of combined AC-DC magnetic fields on free radical in organized and biological systems. Development of a model and application of the radical pair mechanism to radicals in micelles" *Photochem Photobiol* 1995, 62:818-829.

[46] Brocklehurst B, McLauchlan KA "Free radical mechanism for the effects of environmental electromagnetic fields on biological systems", *Int J Radiat Biol* 1996, 69:3-24.

[47] Brocklehurst B "Magnetic isotope effects in biology: a marker for radical pair reactions and electromagnetic effects?" *Int J Radiat Biol* 1997, 72:587-596.

[48] Cozens FL, Scaiano JC "A comparative study of magnetic field effects on the dynamics of germinate and random radical pair processes in micelles" *J Am Chem Soc* 1993, 115:5204-5211

- [49] Brocklehurst B “Magnetic fields and radical reactions: recent developments and their role in nature”. Chem Soc Rev 2002,31:301-311
- [50] Schenck JF, Dumoulin CL, Redington RW, Kressel HY, Elliott RT, McDougall IL “Human exposure to 4.0 T magnetic fields in a whole-body scanner” Med Phys 1992, 19:1089-1098.
- [51] Togawa T, Okay O, Ohima M: Observation of blood flow e.m.f. in externally applied strong magnetic fields by surface electrodes. Med Biol Eng 1967, 5:169-170.
- [52] Tenforde TS, Gaffey CT, Moyer BR, Budinger TF: Cardiovascular alterations in Macaca monkeys exposed to stationary magnetic fields: experimental observations and theoretical analysis. Bioelectromagnetics 1983, 4:1-9.
- [53] Shellock FG, Crues JV.“MR procedures: biologic effects, safety, and patient care”, Radiology. 2004 Sep;232(3):635-52. Epub 2004 Jul 29.
- [54] 이상용, Mr safety and biologic effects, 대한자기공명의과학회 2007년도 MR연수강좌, 2007, pp9-21
- [55] 이록행 등, MRI 소음의 특성을 이용한 공동 내부 목표점의 능동소음 제어, 한국소음진동공학회, 2014

부록 1. MRI 기기실의 건강 유해요인

① 정자기장(static field)

- 화학반응에 대한 자장의 영향(Magnetic Effects on Chemical Reaction)

▷ 물질의 자성에 따라 강력한 자기장이 가해졌을 때 화학 반응들의 평형 상태 또는 비율이 달라질 것이라고 추측할 수 있다.

▷ 화학 반응의 생성물이 반응물보다 상자성을 가진다면 자기장의 존재는 생성물의 농도를 증가시키는 쪽으로 평형을 이동시킬 수 있으며, 예를 들어 인체 내 중요 화학반응 중 하나인 deoxyhemoglobin(반자성)의 oxygen(상자성)과 hemoglobin (상자성)으로의 해리과정의 경우 외부에서 가해진 자기장은 해리 반응에 필요한 에너지장벽을 낮출 수 있다.

▷ 다만 1.0 T의 자기장 세기 하에서는 에너지 장벽의 변화는 1 J/mol에 불과하며, 이것이 화학 평형에 미치는 영향은 십씨 0.01도 온도 변화가 일으키는 것보다 작다[42].

▷ 유리기 쌍(radical pairs)의 동역학 및 재결합 반응의 변화를 들 수 있으며[43] 유리기는 기관계에서 해로운 반응과 연관이 있는 것으로 알려져 있으므로, 결국 유리기의 반응도를 높이거나 농도를 증가시키는 것은 인체에 해로운 결과를 초래할 수 있다[44-48].

▷ 그러나 기관계 혹은 전신에 미치는 영향에 관한 연구는 거의 없었으며, 자기장이 건강에 미치는 악영향에 관한 광범위한 의학, 화학, 물리학적 연구에서 명확한 근거는 발견되지 않았다[49].

- 자기 혈역학에 의한 힘과 압력(Magnetohydrodynamic Force and Pressures)

▷ 이온성 전류(Ionic current)에 주자기장이 가해졌을 때, 움직이는 이온에 가해지는 net force vector는 $\vec{J} \times \vec{B}$ 로 계산되며, 즉 전류 밀도가 높을수록 주자

기장의 세기가 높을수록 비례하여 커짐

▷ 이로 인하여 인체 내에서 흐르는 혈류나 내이(inner ear)의 endolymphatic tissue에 전류가 발생할 수 있으며 일반적으로 혈류내에서 생긴 힘은 매우 적어서 거의 영향을 주지 않으나, 내이의 endolymphatic tissue에는 오심(nausea), 현훈(vertigo)등의 증상이 보고되고 있다[50].

- 혈류 및 움직임으로 인해 조직에 유도되는 전류(Flow and motion-induced currents in tissues)

▷ 외부 자기장 하에서 조직의 motion induced electric으로 인해 신경계 및 잠재적인 신체 전기 신호의 방해 등이 초래될 수 있다.

▷ 최근 8.0 T에서 인체 근육과 신경에 대한 EMF의 영향에 대한 연구가 있었으나 이로 인한 영향은 vital sign change를 일으키는 역치 값의 이하인 것으로 나타난다[51][52].

- 인체 내 강자성체에 대한 효과(Possible Ferromagnetic Tissue Components)

▷ 인체의 구성성분은 대부분이 자력에 대해 민감하지 않은 반자성(diamagnetic)물질이기 때문에 고자장하에서 큰 위험성은 없다고 알려져 있다.

▷ 인체 내 구성성분 중 대표적인 강자성체는 철(iron)이 있지만 현재까지는 인체 내 존재하는 철은 극소량(3.7g/70kg)이며, 인체 내에서 모여 있지(bulky distribution) 않기 때문에 자장의 효과가 미미하다고 알려져 있다.

▷ 문신이나 그린 눈썹 등에 포함된 산화철이 자장 내에서 힘을 받고 움직여 주변 조직을 자극하여 부종을 발생시키거나 영상을 왜곡 할 수 있다[52].

② 경사 자기장(Gradient magnetic field)

- MRI 검사 중에 발생하는 경사 자기장은 신경이나 근육을 자극할 수 있는 것으로 알려져 있다.

- 충분한 크기의 경사 자기장에 노출 시, 말초 신경 자극으로 인한 저림

(tingling)이나 툭툭 치는 듯한 느낌(tapping)을 느낄 수 있으며 가장 흔한 부위는 뼈가 튀어나온 부위(bony prominence area)이다.

- 극단적으로 높은 강도(extremely high level)에서는 심장에 문제를 일으킬 수 있는 것으로 알려져 있으나 실제 임상에서 사용되는 장비에는 해당되지 않는다.

③ Radio Frequency magnetic field

- 라디오주파수 전자기파에 의한 주요 효과는 열 발생이다.

- 라디오주파수 전자기파에 의한 열 발생에 영향을 미치는 것은 조직 특이 흡수율(specific absorption rate, SAR)이 가장 중요하다.

- 임상적으로 사용되는 MRI를 이용한 몇 연구들에서 라디오주파수 전자기파에 의해 체온이 상승하는 것이 관찰되었으나 그 크기는 아주 작았다($<0.6^{\circ}\text{C}$)

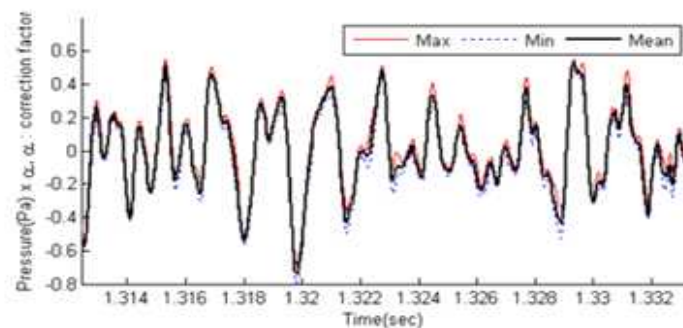
- 8T 이상의 강력한 자기장을 사용하는 MRI 장비에서도 마찬가지로 결과를 보였다.

④ 소음

- MRI 기기에서 발생하는 소음의 특성

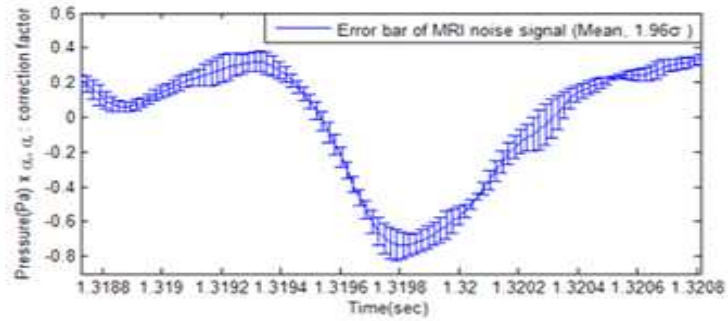
▷ 일반적 특성 : MRI 기기가 작동하는 동안에 발생하는 소음은 경사자기장의 코일의 진동에 의해 발생하는데, 그 기전은 스피커의 원리와 유사하다. 스피커 내부를 살펴보면 자석의 주변을 코일로 감아 놓은 구조로 이루어져 있는데, 이 코일에 전류를 흘려주면 코일 주변에 자기장이 발생하고, 이 자기장과 자석의 자기장이 충돌하면 전류가 흐르고 있는 코일에 진동이 발생한다. 이 진동이 스피커의 얇은 막에 전달되면 소리가 발생하는 것이 스피커의 원리이다. 이와 마찬가지로 경사자기장 내부에 전류를 흘려주면 경사자기장 주변에 발생한 자기장이 정자기장과 충돌을 일으키고, 이때 발생한 경사자기장 코일의 진동에 의해 소음이 발생한다. [53]

▷ MRI 소음 신호의 반복성 : 시간경과에 따른 MRI 시스템의 변화를 확인하기 위하여, 약 2분 동안 공동 내부 중심점(isocenter)에서 같은 조건 하에 여러 번 측정된 신호를 바탕으로 샘플 사이의 평균, 최대값, 최소값을 비교하였다. 그림 20은 흔히 사용되는 GRE 펄스파형에 의한 소음 신호의 일부분을(신호의 절대값이 가장 큰 부분을 포함) 확대하여 도식화한 것으로 각 시간에 따른 평균과 최대값, 최소값을 나타내었다. 그림 21은 각 평균으로부터 95%의 신뢰도를 가지고 편차의 크기를 오차막대의 그래프로 표현하고, 그 일부분을 도식화하였다. 그래프에서 볼 수 있듯이, 각 샘플마다의 차이는 평균에서 크게 변하지 않는 것을 확인할 수가 있었다. 이를 통해, MRI 소음 신호는 샘플에 따라 반복성이 있음을 알 수가 있었다. [54]

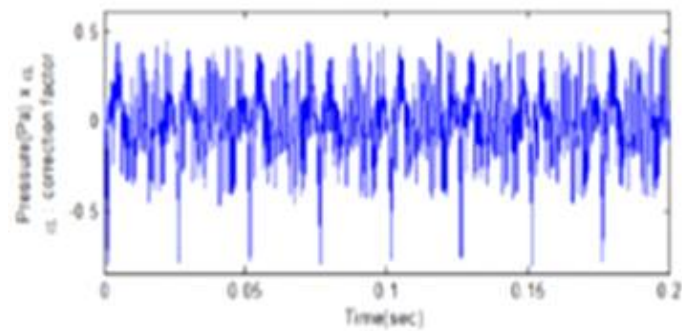


[그림 20] Maximum, minimum and mean value of signal along samples

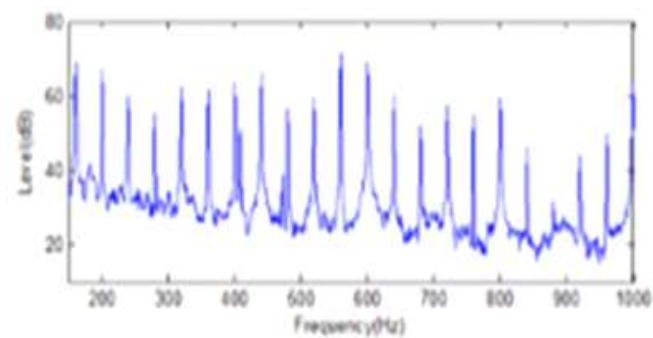
▷ MRI 소음 신호의 주기성 : MRI 소음 신호를 시간 역과 주파수 역에서 분석하였다. GRE 펄스파형에 의한 소음신호를 시간 역과 주파수 역에서 그림 22, 23에 도식화하였다. 시간영역에서 시간에 따라 같은 주기로 반복되는 패턴이 있음을 확인할 수 있다. 또한, 주파수 영역에서 다수의 피크(peak)를 가지는 것을 확인할 수가 있는데, 이 피크들의 주파수는 기본 주파수의 배수에 해당하였다. 이를 통해, MRI 소음 신호는 주기성을 가짐을 확인하였다. [55]



[그림 21] Error bar of mean and standard deviation along samples



[그림 22] MRI noise in time domain



[그림 23] MRI noise in frequency domain

- 국내 상용 MRI 촬영기기의 소음 발생 정도 파악 및 측정

▷ 소음측정 대상인 MRI 촬영기기는 총 3대로, 각각 1번, 2번, 3번으로 명명하였다. 1번은 나은병원의 PHILIPS사 Acheiva 1.5T(1.5T)이고, 2번은 가톨릭대학교 인천성모병원의 SIEMENS Skyra 3.0T(3.0T), 3번은 가톨릭대학교 인천성모병원의 SIEMENS Avanto 1.5(1.5T)이다.

- 소음 측정 장비 및 측정대상 : Pulse Sequence별 소음(dB(A))은 Larson David사의 706 모델로, 주파수별 소음(dB(A))은 Quest사의 2900모델을 이용하여 측정하였다. Pulse Sequence는 일반적으로 가장 많이 사용되는 6개(TSE T1, TSE T2, FFE T2, FLAIR T2, FFE(MRA), EPI(DWL))의 Sequence를 대상으로 하였다.

- 소음 측정 장소 : MRI 방사선사들의 주된 작업장소인 MRI실 외부의 조작성 테이블 위에서 측정하였다.

- Pulse Sequence별 소음 측정결과는 다음과 같다.

<표 41> MRI 촬영기기별 Pulse Sequence별 소음 측정결과(단위 : dB(A))

기기	TSE T1	TSE T2	FFE T2	FLAIR T2	FFE (MRA)	EPI (DWL)	평균
1번	66.2	63.8	64.7	64.3	64.3	63.6	64.48
2번	63.0	65.9	68.6	65.9	66.4	66.9	66.12
3번	63.7	65.3	59.6	59.4	63.3	59.1	61.73

- 주파수별 소음 측정결과는 다음과 같다.

<표 42> MRI 촬영기기별 주파수별 소음 측정결과(단위 : dB(A))

기기	주파수 (Hz)	TSE T1	TSE T2	FFE T2	FLAIR T2	FFE (MRA)	EPI (DWL)	평균
1번	500	47.2	48.9	51.1	40.8	48.1	52.3	48.07
1번	1000	49.3	50.2	56.7	52.8	57.7	51.9	53.10
1번	2000	40.1	41.5	48.6	42.8	48.6	46.2	44.63
1번	4000	30.7	30.6	40.2	31.0	31.5	32.5	32.75

2번	500	55.0	63.7	50.3	50.2	47.4	52.1	53.12
2번	1000	54.3	58.2	50.5	54.7	53.0	53.0	53.95
2번	2000	54.5	55.5	48.0	51.3	44.1	50.4	50.63
2번	4000	42.1	57.3	43.5	48.1	43.5	50.4	47.48
3번	500	57.3	54.9	61.3	56.6	49.2	54.9	55.70
3번	1000	57.8	48.4	60.4	54.9	50.4	57.3	54.87
3번	2000	48.3	45.6	62.7	50.1	48.1	48.5	50.55
3번	4000	42.2	41.5	54.3	43.9	47.7	39.0	44.77

- 소음 노출 정도 : FDA는 140dB이하를 권장하고 있지만 일반적으로 99dB 이상의 소음이 발생하는 경우 차음이 필요하다. 귀마개(Earplug)는 10~30dB 정도의 차음효과가 있지만, 헤드폰(headphone) 등의 보호구를 사용하는 것이 필요하다. 또한 소음의 정도뿐만 아니라 소음 노출 시간에 대한 고려도 필요하다.

부록 2. 연구 절차 설명문

설 명 서

연구 제목	MRI 기사들의 자기장 노출에 의한 건강영향 실태조사 및 체계적인 모니터링 시스템 구축
-------	--

1. 연구목적

이 연구의 목적은, 방사선사의 작업환경에 따른 건강영향에 관한 문헌을 검토하고 유해요인 노출파악을 위한 조사도구를 개발하여, 역학조사를 통해 의료용 영상기기 관련 업무 종사자들의 직업병의 발생을 예방하고 직업보건실태 모니터링시스템을 구축하는 것입니다.

2. 연구참여 및 수행방법

[연구내용]

자기장의 강도는 영상의 질 향상에 영향을 미치며 최근 MRI 장비의 자기장 크기가 증가하는 추세입니다. 하지만 MRI에서 노출되는 자기장은 지구 전자기장의 수만배에 이르며 이에 따른 위해 가능성이 지속적으로 제기되고 있으며, MRI검사 수행 근로자에 대한 건강영향평가 연구의 필요성이 또한 제기되고 있습니다. 자기장 구역에서 근무하는 작업종사자의 경우 반복적인 노출로 인한 누적 노출량이 높으며, 고자기장 작업자의 방호 규정/지침이 없어 고자기장 노출 직군에 대한 자기장 노출실태 파악과 건강영향에 대한 실태 파악이 필요한 실정입니다.

이에 따라 본 연구에서는 MRI촬영기사 등을 대상으로 건강영향조사 도구를 개발하고, 추후 심화연구를 통한 직업군의 노출실태와 건강영향 파악과 직업병 예방 및 모니터링 시스템을 구축을 목적으로 시행하고자 합니다.

[연구참여에 대한 구체적인 절차]

업무특성상 순환근무를 하는 대상자의 근무형태를 고려하여 야간근무, 오전근무, 오후근무에 대한 측정이 이뤄집니다(총 3번).

측정형태는 자기장 노출실태에 대한 파악이 목적으로 근무 시간 동안 Video촬영을 통한 동작분석이 진행됩니다(약 30분간 진행).

각각의 근무 시간대별 측정 후 매번 설문조사가 시행됩니다. 설문조사는 Smart phone application을 통해 질병력과 주관적 증상 등에 대한 설문이 이뤄집니다.

[연구대상]

- 대상자: MRI촬영실에 근무하면서 일일 최소 8시간 이상, 월 20일 이상, 연간 250일 이상 근무하는 모든 방사선사

- 노출군: 현재 방사선사로 재직 중 이지만, MRI촬영실에 근무하지 않는 CT, X-ray 등 전리방사선 진단장비 관련업무 담당 방사선사 및 초음파 등 비전리방사선 진단장치 관련업무 담당 방사선사

3. 연구대상자의 연구참여 기간 및 소요되는 시간⁴⁾

MRI측정(약 30분간 진행) 후 MRI관련 업무 종사자들의 자기장 노출 실태 및 건강 실태 분석을 위한 설문지 조사(약 10분가량 소요예정)를 시행할 예정입니다. 측정은 순환근무를 하는 근로자의 근무조건에 맞춰 각 사람당 3번 진행(야간근무, 오전근무, 오후근무)되며, 설문지 조사는 측정 후 각각 모두 시행됩니다. 또한 유소견 대상자의 경우 심층 인터뷰(약 20분가량 소요예정)가 1회 시행될 예정입니다. ⁴⁾

4. 자발적 참여, 자유로운 동의 철회⁴⁾

이 연구에 참여할 지의 여부는 귀하께서 선택하실 수 있습니다. 참여하지 않기로 결정하시더라도 불이익은 없으며, 참여 후에도 귀하의 정보가 사용되길 원치 않으실 경우 아래 연락처로 연락하셔서 참여를 철회할 수 있습니다. 참여를 철회하신 이후에 귀하의 정보는 연구를 위해 일체 열람 또는 사용되지 않습니다. ⁴⁾

5. 개인정보 수집 및 활용에 관한 사항⁴⁾

이 연구는 설문자료를 활용하는 연구로 수집한 주민등록번호를 국가자료와 연계해서 수행하게 됩니다. 혈액, 소변 등의 검체는 채취하지 않습니다. 수집된 개인정보는 한국중앙암등록본부암등록자료, 국민건강보험공단수진자료, 건강보험심사평가원청구자료, 통계청사망원인자료 등의 2차 자료와 주민등록번호를 연계하여 자료 분석에 이용할 수 있습니다. ⁴⁾

6. 연구 관련 자료 보관 및 폐기에 관한 사항⁴⁾

수집된 자료는 향후 추가연구에 한국중앙암등록본부암등록자료, 국민건강보험공단수진자료, 건강보험심사평가원청구자료, 통계청사망원인자료 등의 2차 자료와 주민등록번호를 연계하여 자료 분석에 이용할 수 있으며, 연구 종료 직후 1개월 이내에 폐기처리 할 예정입니다. ⁴⁾

7. 이익/위험도 ⁴⁾

연구에 참여하는 데에는 특별한 이득은 없으나 향후 MRI관련 업무 종사자들의 코호트 구축으로 장기적으로 관련 종사자들의 건강에 미치는 영향에 대한 평가를 기대할 수 있으며, 연구 결과와 2차 자료(건강보험공단수진내역, 사망자료, 암등록 자료 등) 연계를 통해 행정 문제를 검토하고 이에 대한 방안을 마련 할 수 있을 것으로 보입니다. 또한 조사 자료 및 기존 연구를 기반으로 한 심화연구(장단기 노출에 의한 건강영향)가 이뤄질 수 있을 것으로 보입니다. ⁴⁾

8. 연구참여로 인한 손실에 대한 보상⁴⁾

이 연구에 성실히 참여하신 대상자들에게는 소정의 선물(상품권)을 제공할 예정입니다. ⁴⁾

9. 문의처

이 연구는 본 기관 연구대상자의 권리, 안전, 복지를 보호할 책임이 있는 한양대학교 기관생명윤리위원회(IRB)에 의해 승인되었으며, 본 연구의 참가자로서 귀하의 권익 보호 및 연구 윤리에 대한 문의가 있을 경우 한양대학교 기관생명윤리위원회 담당자(김선희, 02-2220-0673)에게 연락하실 수 있습니다. 연구에 대한 문의사항이 있거나 위험이나 불편함이 발생할 경우, 아래 연구책임자에게 연락하여 주시기 바랍니다.

	성명	연락처	연구실시기관명
연구책임자	송재철	02-2220-0663	한양대학교 의과대학 직업환경의학교실

부록 3. 연구 동의서

연구참여자 동의서

소속병원: _____

연구제목 : MRI 기사들의 자기장 노출에 의한 건강영향 실태조사 및 체계적인 모니터링 시스템 구축

☐ 본인은 이 설명문을 읽었으며, 이 연구의 목적, 방법, 기대효과, 획득된 정보의 관리 및 개인정보의 비밀 유지 등에 대하여 충분히 숙지하고 이해하였습니다.

☐ 모든 궁금한 사항에 대해 질문하였고, 충분한 답변을 들었습니다.

☐ 이 연구에 동의한 경우라도 언제든지 철회할 수 있음을 확인하였습니다.

☐ 본인은 설명문 및 작성한 동의서 사본 1부를 받았음을 확인합니다.

☐ 충분한 시간을 가지고 생각한 결과, 본인은 이 연구에 참여하기를 자유로운 의사에 따라 동의합니다.

연구 참여자의 성명 : _____ (서명) 날짜 : _____년 _____월 _____일

주민등록번호:

--	--	--	--	--	--	--	--

 -

--	--	--	--	--	--	--	--

설명 연구책임자/공동연구자의 성명 : _____ (서명) 날짜 : _____년 _____월 _____일

부록 4. 설문지

방사선사의 직업보건 실태조사 연구 관련 설문 (일반 문항)

* 공란을 작성하고, 해당되는 ☐ 란은 체크(✓) 해주시기 바랍니다.

1. 생년월일 : _____년 _____월 _____일 2. ☐ 남 ☐ 여
3. 신장 : _____cm / 체중 : _____kg
- 4-1. 현재 직무[방사선사] ☐ MRI ☐ US ☐ CT ☐ 혈관조영 ☐ 투시조영 ☐ 일반촬영
- 4-2. 현재 직무[방사선사 외] ☐ 간호사 ☐ 사무직 ☐ 기타 _____
5. 의료용 영상기기와 관련 있는 업무를 언제부터 시작하였나요? (현재 또는 과거의 직장 모두 포함)
[_____년 _____월부터]
6. 의료용 영상기기 관련 업무기간에 대하여 답해 주시기 바랍니다.

	총 업무수령기간	월평균업무
☐ MRI 방사선사로서	_____년 _____개월	_____일
☐ US 방사선사로서	_____년 _____개월	_____일
☐ CT 방사선사로서	_____년 _____개월	_____일
☐ 혈관조영 방사선사로서	_____년 _____개월	_____일
☐ 투시조영 방사선사로서	_____년 _____개월	_____일
☐ 일반촬영 방사선사로서	_____년 _____개월	_____일
☐ _____로서	_____년 _____개월	_____일

7. 최근 1년간 의료용 영상기기 관련 업무량에 대하여 답해 주시기 바랍니다.

• 월 평균 영상기기실 출입 일수	_____일/월
• 연 평균 영상기기실 출입 일수	_____일/년
• 하루 평균 촬영횟수	_____회
• 하루 최소 촬영횟수	_____회
• 하루 최대 촬영횟수	_____회
• 1회 촬영시간	_____분
• 하루에 사용하는 영상기기 종류 수	_____종류
(*같은 모델은 1대로 계산)	

8. 귀하의 건강상태에 대하여 답해 주시기 바랍니다.

	고혈압	당뇨병	이상 지질혈중	뇌졸중	심근경색 또는 협심증	기타* (암 제외)	암**
의사에게 진단받은	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
현재 약물 치료 중	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
진단 연도	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
* 구체적인 기타 질환명 (암 제외) : _____ ** 구체적인 암의 발생 부위 : _____							



[1] FORM 1 - 하루 근무를 시작할 때 작성.

0. 근무 시작 시간 : ____시 ____분 (예 : 오후 2시 = 14시)

1. 근무를 시작하기 전인 지금 현재, 아래 증상이 있나요?

☐ 아니요☐ 예 → 해당되는 증상 및 정도에 체크(✓)

	증상	증상의 정도			
		거의없음	약간심함	많이심함	매우심함
☐	어지럼증				
☐	메스꺼움				
☐	이명				
☐	빛, 번쩍거림				
☐	식[철] 맛				
☐	두통				
☐	피로감				
☐	집중력 감소				
☐	구토				
☐	자세불균형				
☐	몽롱함/멍함				
☐	흐릿한 시야				
☐	이상한 냄새				
☐	저린 느낌				
☐	불수의 근육수축				
☐	목 통증				
☐	어깨 통증				
☐	팔 통증				
☐	손 통증				
☐	허리 통증				
☐	발/다리 통증				
☐	일시적 시력감소				
☐	눈 자극				
☐	피부 자극				
☐	열감/홍조				
☐	귀 통증				
☐	두근거림				
☐	청력감소				
☐	기타1 : []				
☐	기타2 : []				
☐	기타3 : []				

2. 증상의 원인으로 짐작하는 것이 있나요?

3. 지난 24시간 동안의 음주량은? ____잔

[*1잔 = 소주 1잔 = 양주 1잔 = 와인 1잔 = 캔 맥주 한 개 = 맥주 350cc = 막걸리 한 대접]

4. 현재의 주관적인 건강상태에 대하여 어떻게 평가하시나요?

☐ 매우 좋음 ☐ 좋음 ☐ 보통 ☐ 나쁨 ☐ 매우 나쁨

5. 현재(근무 전)의 피로도에 대하여 어떻게 평가하시나요?

* VAS로 구현 : '피로하지 않다=(0)' ~ '아주 피로하다=(10)'

[2] FORM 2 - 하루 근무가 종료될 때 작성.

0. 근무 종료 시간 : ____시 ____분 (예 : 오후 2시 = 14시)

1. 이번 근무 중 의료용 영상기기가 있는 방으로 들어간 적이 있나요?

☐ 아니요 → 4번 문항으로☐ 예 → 사용한 기기의 '이름-수-신호강도' 는 무엇인가요? [선택-기기종류, 강도 등]

기기#1. [____ - ____ - ____] (예시 : MRI-2기-3T)

기기#2. [____ - ____ - ____]

기기#3. [____ - ____ - ____]

2. 촬영 중 기기실에 들어간 총 횟수는? ____회

3. 촬영 중 기기실에 들어간 총 시간은? ____시간 ____분

4. 이번 근무 중에 소독약 또는 살균제를 사용하였나요?

☐ 아니요☐ 예

5. 이번 근무 중에 세정제 또는 세척제를 사용하였나요?

☐ 아니요☐ 예 → 사용한 세정제 또는 세척제는 무슨 종류인가요?☐ 강한 화학약품 냄새 또는 증기가 발생하는 종류 (표백제, 휘발성 물질)☐ 강한 화학약품 냄새 또는 증기가 발생하지 않는 종류 (비누, 세제 등)

6. 이번 근무의 작업부하(작업량)는?

☐ 아주 약하다☐ 중등도☐ 강하다☐ 매우 강하다

7. 현재(근무 후) 의 피로도에 대하여 어떻게 평가하시나요?

* VAS로 구현 : '피로하지 않다=(0)' ~ '아주 피로하다=(10)'

8. 이번 근무 중에, 아래 표에 포함되어 있는 증상을 경험하였나요?

☐ 아니요☐ 예 → 해당되는 증상 및 정도, 지속시간에 체크(✓)

	증상	증상의 정도				증상의 지속시간(분)				
		거의 없음	약간 심함	많이 심함	매우 심함	<1	<5	<15	<60	>60
☐ 어지럼증						☐	☐	☐	☐	☐
☐ 메스꺼움						☐	☐	☐	☐	☐
☐ 이명						☐	☐	☐	☐	☐
☐ 빛, 번쩍거림						☐	☐	☐	☐	☐
☐ 쇠[철] 맛						☐	☐	☐	☐	☐
☐ 두통						☐	☐	☐	☐	☐
☐ 피로감						☐	☐	☐	☐	☐
☐ 집중력 감소						☐	☐	☐	☐	☐
☐ 구토						☐	☐	☐	☐	☐
☐ 자세불균형						☐	☐	☐	☐	☐
☐ 몽롱함/멍함						☐	☐	☐	☐	☐
☐ 흐릿한 시야						☐	☐	☐	☐	☐
☐ 이상한 냄새						☐	☐	☐	☐	☐
☐ 저린 느낌						☐	☐	☐	☐	☐
☐ 볼수의 근육수축						☐	☐	☐	☐	☐
☐ 목 통증						☐	☐	☐	☐	☐
☐ 어깨 통증						☐	☐	☐	☐	☐
☐ 팔 통증						☐	☐	☐	☐	☐
☐ 손 통증						☐	☐	☐	☐	☐
☐ 허리 통증						☐	☐	☐	☐	☐
☐ 발/다리 통증						☐	☐	☐	☐	☐
☐ 일시적 시력감소						☐	☐	☐	☐	☐
☐ 눈 자극						☐	☐	☐	☐	☐
☐ 피부 자극						☐	☐	☐	☐	☐
☐ 열감/홍조						☐	☐	☐	☐	☐
☐ 귀 통증						☐	☐	☐	☐	☐
☐ 두근거림						☐	☐	☐	☐	☐
☐ 청력감소						☐	☐	☐	☐	☐
☐ 기타1 : []						☐	☐	☐	☐	☐
☐ 기타2 : []						☐	☐	☐	☐	☐
☐ 기타3 : []						☐	☐	☐	☐	☐

9. 증상을 일으키는 원인으로 짐작되는 것이 있나요?

10. 작업 중 경험한 증상이 작업 활동에 영향을 미친다고 생각하시나요?

☐ 아니요.

☐ 예. → 영향을 주는 것은 어떤 증상인가? 또 어떤 식으로 영향을 주었나요?

선택한 것을 리스트하고 선택하게 한다.

직업보건 실태조사 연구

**설문가입시 기입한
병원코드+직종코드+INDEX**
Ex. HY00A001
(한양대 A직종 1번째 가입자)

가입코드

전화번호

로그인

코드찾기 설문자등록

COPYWRITE BY HANYANG

[클릭 시
상세 설명문
노출](#)

[상세보기](#)

연구참여자 동의

참여자 설명문

연구제목

방사선사의 직업보건 실태조사 및 모니터링시스템 구축

- ☒ 본인은 이 설명문을 읽었으며, 이 연구의 목적, 방법, 기대효과, 획득된 정보의 관리 및 개인정보의 비밀 유지 등에 대하여 충분히 숙지하고 이해하였습니다.
- ☐ 모든 궁금한 사항에 대해 질문하였고, 충분한 답변을 들었습니다.
- ☐ 이 연구에 동의한 경우라도 언제든지 철회할 수 있음을 확인하였습니다.
- ☐ 본인은 설명문 및 작성한 동의서 사본 1부를 받았음을 확인합니다.
- ☐ 충분한 시간을 가지고 생각한 결과, 본인은 이 연구에 참여하기를 자유로운 의사에 따라 동의합니다.
- ☐ 전체동의

이하 계속 (scroll)

일반문항

이전 계속 (scroll)

8. 귀하의 건강상태에 대하여 답해 주시기 바랍니다.
※ 다수 선택 가능

병명	의사에게 진단받음	현재 약물 치료 중	진단 연도
고혈압	☐	☐	
당뇨	☐	☐	
이상 지질혈증	☐	☐	
뇌졸중	☐	☐	

구체적인 기타 질환명 (암 제외)

구체적인 암의 발병 부위

완료

X회차 업무 시작 설문

3. 근무를 시작하기 전인 지금 현재,
아래 **증상**이 있나요? W
해당 증상이 있는 경우,
증상의 정도를 선택해 주세요.

☐ 어지럼증

☒ 메스꺼움

거의없음	약간심함	많이심함	매우심함
거의없음	약간심함	많이심함	매우심함
거의없음	약간심함	많이심함	매우심함
거의없음	약간심함	많이심함	매우심함

☒ 기타

거의없음	약간심함	많이심함	매우심함
------	------	------	------

다음 3/7

〈〈운 영 진〉〉

용역수행기관 : 한양대학교 산학협력단

용역책임자 : 송 재 철(교수, 의학박사, 한양대학교)

연 구 원 : 박 동 욱(교수, 보건학박사, 한국방송통신대학교)

김 영 서(조교수, 의학박사, 한양대학교)

최 관 우(의학박사, 서울아산병원)

연구보조원 : 구 노 현(석사과정, 한양대학교)

김 호 길(전공의, 박사과정, 한양대학교)

박 수 진(박사과정, 한양대학교)

이 경 미(석사과정, 한양대학교)

이 경 준(전공의, 석사과정, 한양대학교)

이 배 원(박사과정, 한양대학교)

이 호 범(석사과정, 한양대학교)

임 가 영(석사과정, 한양대학교)

류 승 훈(보건학석사, 한국방송통신대학교)

차 원 석(보건학석사, 한국방송통신대학교)

연구상대역 : 강 영 중(연구위원, 산업안전보건연구원)

〈〈용 역 수 행 기 간〉〉

2016. 4. 1 ~ 2016. 10. 31.

본 용역은 산업안전보건연구원의 2016년도 위탁용역사업에
의한 것임

본 연구보고서의 내용은 연구책임자의 개인적 견해이며, 우리 연구원의 공식견해와 다를 수도 있음을 알려드립니다.

산업안전보건연구원 원장

**MRI 기사들의 자기장 노출에 의한 건강영향
실태조사 및 체계적인 모니터링 시스템 구축**
(2016 - 연구원 - 1183)

발 행 일 : 2016년 11월 30일

발 행 인 : 산업안전보건연구원 원장 김 장 호

연구 책임 자 : 한양대학교 의과대학 송 재 철

발 행 처 : **산업안전보건공단 산업안전보건연구원**

주 소 : (681-230)울산광역시 중구 종가로 400

전 화 : (052) 703-0824

F A X : (052) 703-0831

Home page : <http://oshri.kosha.or.kr>
