

KRISS-94-003-IR

**표준과학연구원 빔라인 설치준비 및 방사광 응용 연구**  
**A Feasibility Study on the Preparation of the KRISS**  
**Beam Line Installation and Synchrotron Applied Research**

연 구 기 관

재단법인 한국표준과학연구원

과 학 기 술 처

|   |  |                                       |                     |                   |
|---|--|---------------------------------------|---------------------|-------------------|
| BIBLIOGRAPHIC DATA SHEET  |  | 1. 관리번호                               | 2. 수행부서<br>방사선 그룹   | 3. 발행일<br>1994. 1 |
| 4. 제목/부제<br><br>표준과학연구원 빔라인 설치 준비 및 방사광 응용연구  |  |                                       | 7. 주제분야<br><br>2007 |                   |
| 5. 저자(공저자)<br><br>이광필, 황선태, 황찬용, 최길웅  |  | 8. 수행기관 보고서 번호<br><br>KRISS-94-003-IR |                     |                   |
| 6. 수행기관(KRISS이외의 공동 혹은 위촉연구기관)<br><br>한국표준과학연구원   |  | 9. 계약번호                               |                     |                   |
|   |  | 10. 자료내역<br>최종보고서                     |                     |                   |
| 11. 위탁기관      과학기술처   |  |                                       |                     |                   |
| 12. 보충사항  |  |                                       |                     |                   |
| 13. 초록(주요 참고문헌이나 관련문헌이 있을 경우 여기에 명시한다)<br><br>방사광은 적외선부터 경 X-선까지의 넓은 범위의 파장 영역의 모든 광을 사용할 수 있고 그 이용분야도 기초과학은 물론 응용과학, 의학 및 첨단 산업에 이르기까지 광범위하다. 현재 세계적으로 많은 방사광 가속기가 가동 및 건설중에 있으며 국내에서는 포항 가속기 연구소에서 94년말 완공예정으로 건설중에 있다.<br><br>현재 포항 가속기 연구소에서 건설중인 방사광 가속기에 당 연구원의 빔라인 건설의 연구기반을 확립하는데 본 연구의 목적이 있다. |  |                                       |                     |                   |
| 14. 키워드(6~12개)<br><br>방사광, 적외선, 경 X-선, 빔라인, 파장영역, 기초과학  |  |                                       |                     |                   |
| 15. 배포구분<br><br>01  |  | 16. 해제기간                              |                     | 17. 면수      58    |
|   |  |                                       |                     | 18. 가격            |

한국표준과학연구원

|   |                                  |  |                             |
|---|----------------------------------|--|-----------------------------|
| BIBLIOGRAPHIC DATA SHEET  | 1. REPORT NO.                    | 2. PERFORMING LAB<br>Radiation Group                           | 3. REPORT DATE<br>1994. 1   |
| 4. TITLE/SUBTITLE<br>A Feasibility Study on the Preparation of the KRISS<br>Beam Line Installation and Synchrotron Applied Research.  |                                  |  | 7. SUBJECT CATEGORY<br>2007 |
| 5. AUTHOR(S)<br>K-P. Lee, S-T Hwang, C-Y Hwang, K-D Choi  |                                  | 8. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO.<br>KRISS-94-003-IR       |                             |
| 6. PERFORMING ORGANIZATION NAME<br>Korea Research Institute of Standards and Science  |                                  | 9. CONTRACT OR GRANT NO.<br>10. TYPE OF REPORT<br>Final Report |                             |
| 11. SPONSORING ORGANIZATION MOST  |                                  |  |                             |
| 12. SUPPLEMENTARY NOTES   |                                  |  |                             |
| 13. ABSTRACT<br><p>Synchrotron Radiation is applied to the basic science, applied, science medical science and industry due to its wide spectral range from infrared to hard x-ray.</p> <p>Now, lots of synchrotron radiation accelerators are under construction, and we can use Pohang Light Source(PLS) at the end of 1994. To build KRISS own beam line at Pohang Light Source which under construction at Pohang, we have conducted experiments using synchrotron abroad for the continuing feasibility study of our beam line and established our further research basis.</p> |                                  |  |                             |
| 14. KEYWORDS<br>Synchrotron radiation, Infrared, Hard x-ray, Beam line, Spectral range, Basic science   |                                  |  |                             |
| 15. CLASSIFICATION<br>01  | 16. SCHEDULE OF DECLASSIFICATION | 17. NO. OF PAGES 58  | 18. PRICE                   |

KOREA RESEARCH INSTITUTE OF STANDARDS AND SCIENCE

# 제 출 문

과학기술처장관 귀하

본 보고서를 “한국표준과학연구원 빔라인 설치준비 및 방사광 응용 연구” 과  
제의 보고서로 제출합니다.

1994. 1

주관연구기관명 : 한국표준과학연구원

연구책임자 : 이 광 필

연구원 : 황 선 태

황 찬 용

최 길 응

# 여 백

# 요 약 문

## I. 제 목

한국표준과학연구원 빔라인 설치준비 및 방사광 응용 연구

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

방사광은 적외선부터 경 X-선까지의 넓은 범위의 파장영역의 모든 광을 사용할 수 있고, 그 이용분야도 기초과학은 물론 응용과학, 의학 및 첨단산업에 이르기까지 광범위하다. 현재 세계적으로 많은 방사광 가속기가 가동 및 건설중에 있으며 국내에서는 포항가속기 연구소에서 '94년말 완공예정으로 건설중에 있다. 이 방사광 가속기에 당 연구원의 전용 빔라인 설치준비를 위한 지속적인 사전조사연구 및 빔라인 설치후 방사광 이용 연구의 효율화를 위하여 해외방사광을 이용한 실험을 통하여 과제수행에 차질이 없도록 연구기반 확립에 그 목적이 있다.

## III. 연구의 내용 및 범위

본 연구의 수행내용과 범위는 다음과 같다.

- 국내외 방사광 가속기의 연구동향 조사
- 빔라인 제작 기반기술 확립
- 해외 방사광 시설을 이용한 응용연구 수행

## IV. 연구 결과

본 연구의 연구결과는 다음과 같다.

- 국내외 방사광 가속기 연구동향 파악
- PLS/KRISS 빔라인·설치운용에 관한 계획 수립
- 일본분자과학연구소(IMS)와 미국 위스콘신대학 (SRC)에서 방사광 가속기를 이용하여 광전자 분광실험 연구 수행

# SUMMARY

## 1. Title

A Feasibility Study on the Preparation of the KRISS Beam Line Installation and Synchrotron Applied Research

## 2. Objective and Importance

Synchrotron Radiation is applied to the basic science, applied science, medical science and industry due to its wide spectral range from ultraviolet to hard x-ray.

Now, lots of synchrotron radiation accelerators are under construction, and we can use Pohang Light Source (PLS) at the end of 1994. We have conducted experiments using synchrotron abroad for the continuing feasibility study of our beam line and the training of ourselves for using our beam line.

## 3. Contents and Scope

The contents and Scope of this study are as follows :

- Investigation of recent synchrotron radiation:
- Establishment of the technology for beam line construction
- Applied research using synchrotron abroad

## 4. Results

- Understanding of research trends in synchrotron radiation accelerator
- Planning for the PLS/KRISS beam line construction and its use
- Photoemission experiments at IMS in Japan and SRC in Wisconsin

# 여 백

# CONTENTS

|  |    |
|--|----|
| <b>Chapter 1. Introduction</b> .....                           | 1  |
| <b>Chapter 2. Achievements</b> .....                           | 3  |
| Section 1. Recent trends in SR accelerator .....               | 3  |
| Section 2. Experimental Results .....                          | 6  |
| <b>Chapter 3. Utilization and expected effect</b> .....        | 21 |
| Section 1. Monochrometer .....                                 | 21 |
| Section 2. Detector .....                                      | 25 |
| Section 3. Surface analysis using SR .....                     | 30 |
| Section 4. X-ray fluorescence .....                            | 33 |
| <b>Chapter 4. Plans of R &amp; D</b> .....                     | 44 |
| Section 1. Needs of R & D .....                                | 44 |
| Section 2. Goals of R & D .....                                | 45 |
| Section 3. Implementation plan of research at each stage ..... | 46 |
| Section 4. Sheet of involved researchers .....                 | 47 |
| Section 5. Main experimental equipments .....                  | 48 |
| Section 6. Implementation plans of research .....              | 49 |
| Section 7. Estimated expenses of research .....                | 50 |
| Section 8. Implementation method and strategy .....            | 51 |
| <b>Chapter 5. Conclusions</b> .....                            | 52 |
| <b>References</b> .....  | 53 |

# 여 백

# 목 차

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 제 1 장 서 론 .....           | 1  |
| 제 2 장 연구성과 .....          | 3  |
| 제 1 절 방사광가속기의 최근 동향 ..... | 3  |
| 제 2 절 방사광 이용실험 결과 .....   | 6  |
| 제 3 장 활용 및 기대효과 .....     | 21 |
| 제 1 절 분광기 .....           | 21 |
| 제 2 절 검출기 .....           | 25 |
| 제 3 절 방사광을 이용한 표면분석 ..... | 30 |
| 제 4 절 X-선 형광 .....        | 33 |
| 제 4 장 연구개발 계획 .....       | 44 |
| 제 1 절 연구개발 필요성 .....      | 44 |
| 제 2 절 연구개발 목표 .....       | 45 |
| 제 3 절 단계별 연구 추진 계획 .....  | 46 |
| 제 4 절 연구원 편성표 .....       | 47 |
| 제 5 절 주요 연구기자재 .....      | 48 |
| 제 6 절 연구 추진 계획 .....      | 49 |
| 제 7 절 추정 연구비내역 .....      | 50 |
| 제 8 절 추진 방법 및 전략 .....    | 51 |
| 제 5 장 결 론 .....           | 52 |
| 참고문헌 .....                | 53 |

# 제 1 장 서 론

방사광 가속기는 태양과 같이 가시광선은 물론 그보다 파장이 훨씬 짧은 영역의 자외선과 X-선 등을 방출하는 기계장치이다. 방사광 가속기에서 방출되는 강렬한 단파장의 빛을 물질에 조사시킴으로써 그물질의 미세구조를 알아볼 수 있다.

그래서 재료과학, 신소재의 개발 연구에 필수적일 뿐 아니라 단백질, 효소, 바이러스 등의 미세구조를 연구할 수 있어 생명, 유전과학, 제약, 화학공업, 의학, 촉매연구 등에 활용되고 있다. 또 반도체 산업에서 고집적회로와 미세 구조물을 만드는데도 방사광은 매우 유용하다. 그리고 기초과학의 국내발전을 위해서도 그 중요성이 더욱 요구되고 있다.

현재 세계적으로 많은 방사광 광원이 가동되고 있을 뿐 아니라 건설 중에 있다. 국내에서는 포항공대 방사광 가속기 연구소에서 1988년 4월부터 약 1,400억 예산규모로 에너지 2.0GeV급의 방사광 가속기(PLS : Pohang Light Source)를 1994년말을 목표로 순조롭게 설치 중에 있다. 최종 빔라인 건설을 36set가 가능하나 빔라인제작은 현재 3개를 추진 중에 있다. 방사광 가속기와 그 빔라인제작은 국내에서 처음 시도되는 것으로써 어려움이 많으나 현재까지는 순조로운 설치를 하고 있다. 물론 건설후에 많은 운영비와 연구비가 소요되는 장치를 사용할 방사광 가속기 이용자의 육성이 필요할 것이나 기초 및 첨단연구의 많은 연구성과가 기대되고 국내 과학발전에 크게 기여될 것으로 예상되어 그 수요가 증가될 것이다.

당 연구원에서 현재 전용빔라인(PLS/KRISS)을 설치계획을 준비중에 있어 국내외 현황 파악 및 방사광 응용연구를 해외방사광 시설을 이용하여 수행하였다.

포항 가속기 연구소의 user training program의 일환으로 일본 분자과학 연구소

(IMS)의 UVSOR시설의 BL82B2 빔라인을 사용하여 층상화합물의 광전자 분광법 연구를 수행하여 층상화합물 중에서  $\text{NiPS}_3$ 와  $\text{FePS}_3$ 결정의 상세한 전자상태 연구를 Resonant-Photoemission (RPS)와 Constant-Initial-State (CIS)분광법으로 수행 하였다.

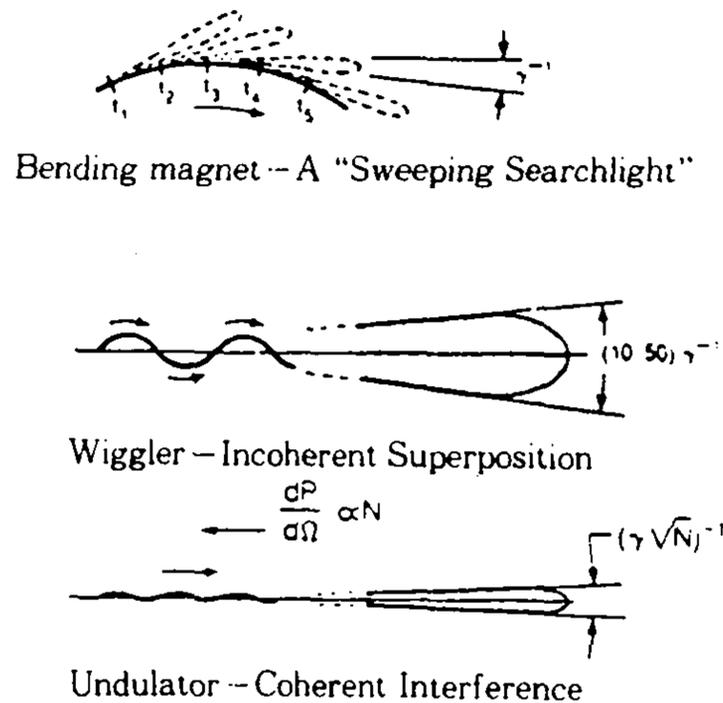
그리고 미국 Wisconsin에 있는 Synchrotron Radiation Center에서 6M TGM beam line을 이용한 Pr/W(100)계에서의 UPS실험을 수행하였다. 이 실험은 right rare earth계에서 저온에서 특이한 성질을 보여주는 Ce화합물이 매우 많이 연구된데 비하여 Pr은 그연구의 빈도가 매우 낮아서 reference를 보기가 힘든 이유에서 시작되었다. Pr은 최근에 고온초전도체에서 Gd등과 함께 Y을 대신해서 사용되고 있어서 그 복잡한 전자구조에 대한 연구가 시급하기 때문이었다. 다음장에서 그 결과에 대한 언급을 하기로 한다.

## 제 2 장 연구성과

### 제 1 절 방사광 가속기의 최근동향

고에너지 저장링은 pulse 형태의 빛을 내는 고회전 전류를 제공하게 된다. 1940년대 말에 처음 발견된 synchrotron radiation은 1960년대에 이르러 물질의 성질을 조사하기 위한 용도로 사용되기 시작하였다. 1963년에서 1973년에 이르기까지 개발된 Wisconsin에 있는 Tantalus storage ring은 고에너지 물리 실험 전용 장비에서 하는 것과는 달리 단독으로 고체 등의 성질을 연구하는데 SR이 전용되는 가장 첫 시도였다. 그후로 이 Tantalus는 Aladdin이라는 새로운 저장링으로 새로이 만들어지게 되고 미국, 독일, 영국 등 여러나라에서 이 방사광 전용의 가속기들이 만들어져 왔다.

전자 저장링에서 사용되는 자기 장치의 형태로는 bending magnet, wiggler, undulator가 있다. Fig. 2-1은 각각의 자기장치에 대한 beam의 모양을 나타낸 그림이다.



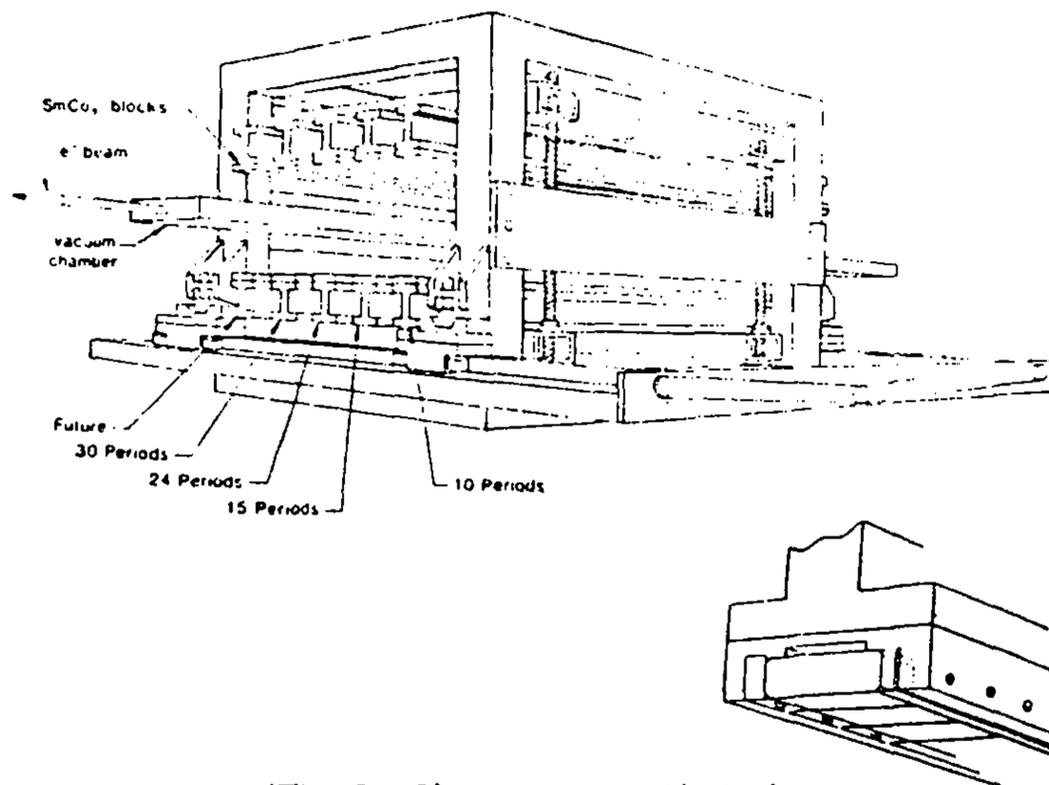
〈Fig. 2-1〉 Bending magnet, wiggler, undulator의 beam profile

Bending magnet은 sweeping search light 형태의 beam을 효율적으로 발생시킬 수 있다. 전자의 속도가 광속에 가까운 관계도 SR emission 임계 에너지 근처에서  $1/r$  ( $r = E_0/m_e C^2$ )의 opening angle(수직방향)을 갖는 highly collimated beam을 얻을 수 있다. 또한 이 bending magnet을 이용할 경우 다른 형태로는 개발이 힘든 soft x-ray 영역에서의 표준광원을 만들 수 있다.

Undulator는 보다 좋은 coherence를 얻을 수 있으며 beam의 power는 주기 N의 제곱에 비례하게 되고 beam의 divergence는 좋게 된다. Undulator는 laser와 그 밝기를 비교할 때 조금 작은 정도의 광원이 된다.

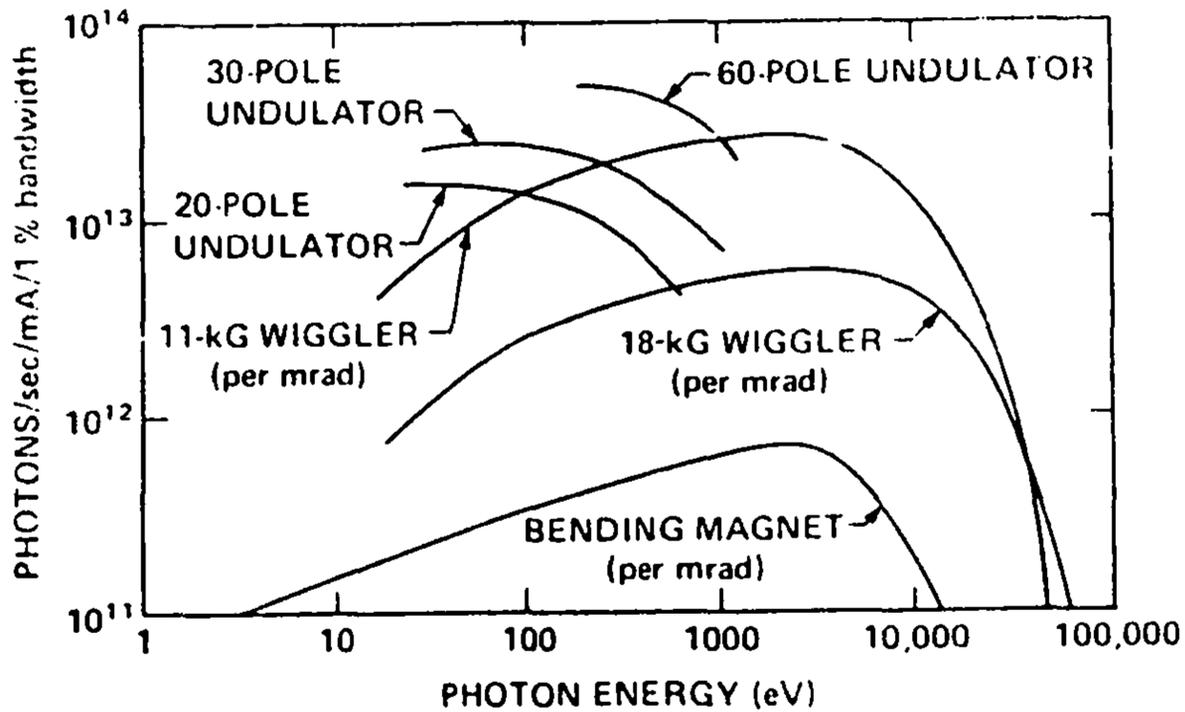
현재 사용되고 있는 전자 저장링에서 전자들의 life time은 약 4~12시간 정도이며 최대전류는 100 mA에서 1000 mA 정도가 된다. 전자의 에너지는 1GeV이하에서 3GeV 정도까지의 값을 갖게 되는데 소모되는 power는 에너지의 1/3에 비례하므로 여러 에너지 range에서 움직이는 전자가 발생시키는 빛은 대개 비슷한 수준이 된다.

가장 최근에 SR 용도로 건설중인 저장링은 insertion-device와 함께 저장된 전자 beam의 low emittance에 역점을 둔다는 점이다.



(Fig. 2-2) Undulator의 모습

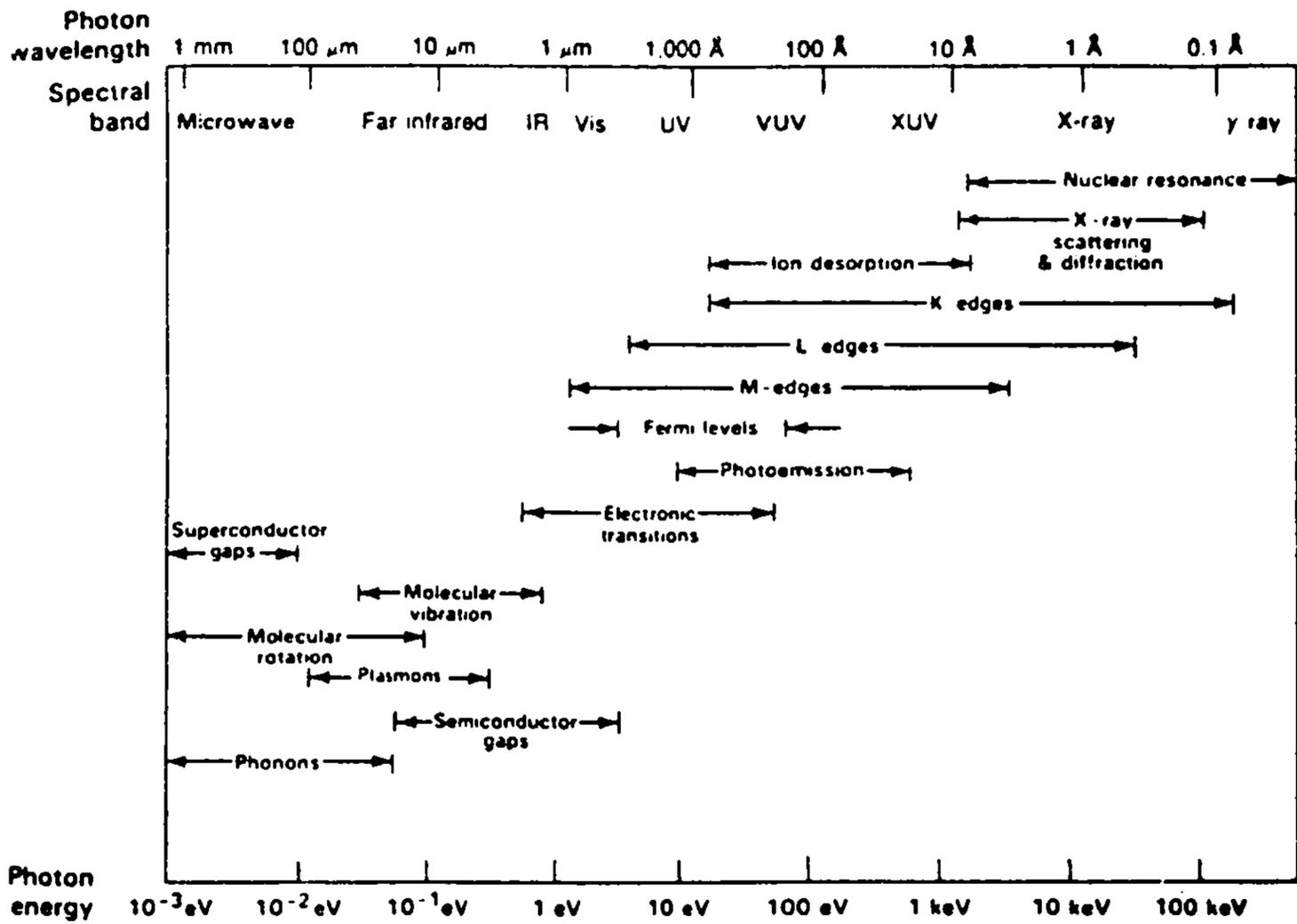
Fig. 2-2는 현재 Advanced light source와 Stanford Synchrotron Radiation laboratory에서 건설중인 4개의 독립적인 magnet을 갖는 undulator의 모습이다.



(Fig. 2-3) 여러가지 insertion device에 따르는 beam의 spectral power

Fig. 2-3은 bending magnet와 undulator, wiggler를 사용한 beam의 spectral power를 나타낸 그림이다. wiggler의 경우에는 고에너지의 값도 bending magnet과 비슷한 정도로 갖을 수 있게 되지만 undulator의 경우는 permanent magnet 사이의 gap이 좋을 수 있는 최소값에 의해서 저에너지 cut off값이 정해지고 고에너지에서도 어느 이상을 갖을 수 없게 된다.

Fig 2-4는 SR을 이용한 characterization 영역의 예를 나타낸 그림이다. 이와 같은 에너지 영역에서의 실험은 monochromator의 기술에 근거를 두고 있다. 전형적인 grating은 1keV 이하의 에너지 영역에서 crystal grating은 1keV 이상의 에너지 영역에서 사용되고 있다.



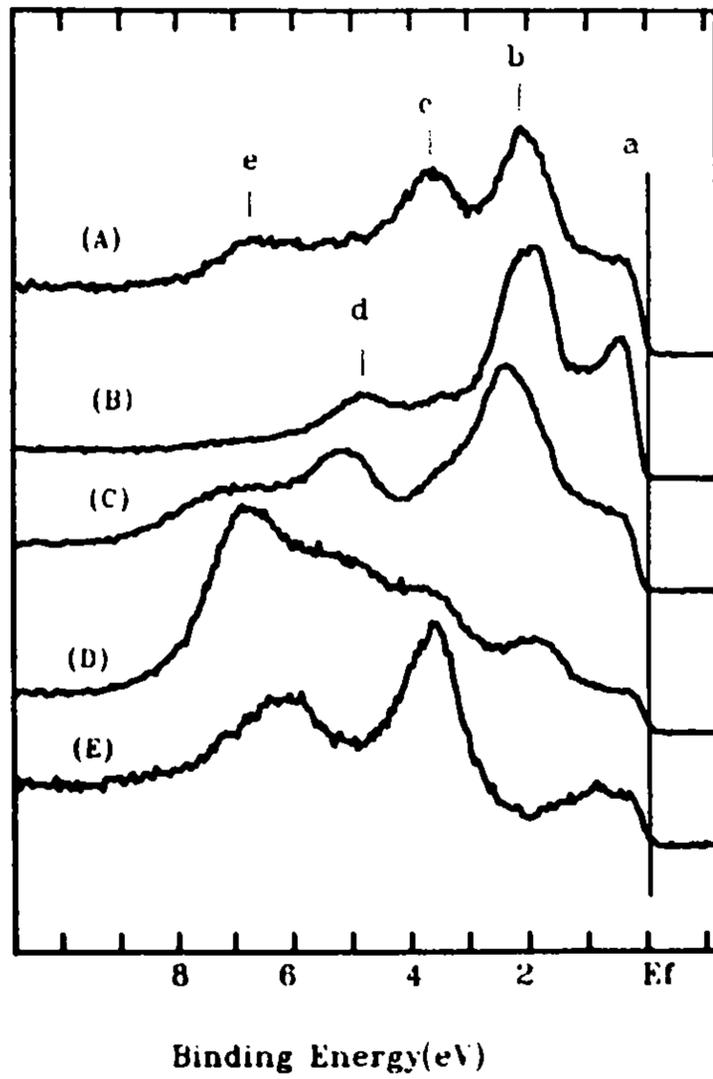
〈Fig. 2-4〉 광원의 에너지에 따르는 반응예

## 제 2 절 방사광 이용 실험 결과

### 1. 방사광을 이용한 Pr의 광전자 분광법 연구

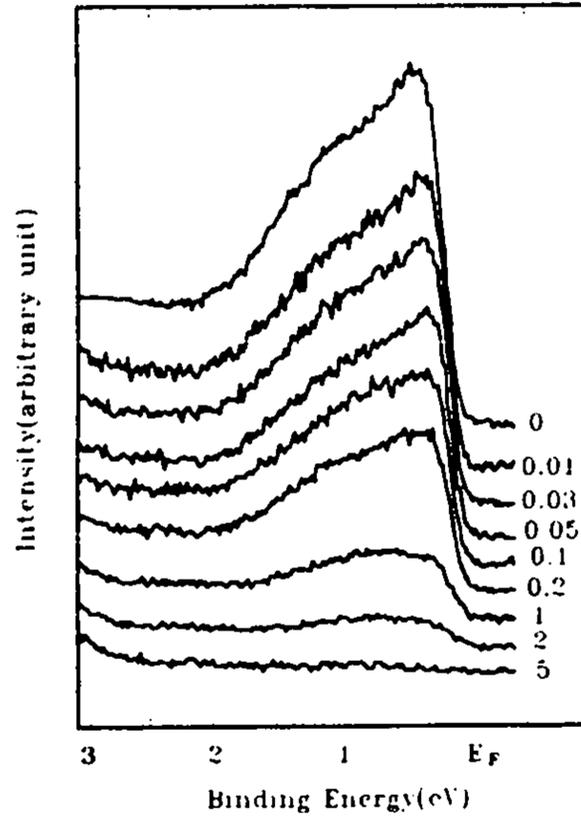
이번 실험에서는 Praseodymium을 W(110) crystal 위에 sub-monolayer에서 10 monolayer를 입혀가면서 Pr의 전자구조, 그리고 Pr의 산화과정에 대한 연구를 하였다.

Fig. 2-5는 몇가지 산화과정에서 valence band의 차이를 보여 주고 있다. 이 산화과정에 대한 연구는 매우 재미있는 process의 가능성을 보여주고 있다. 다른 실험의 하나는 Pr 금속의 전자구조에 관한 연구이다.



(Fig. 2-5) (A) 0.5ML Pr/W (110) (B) W (110)  
 (C) O<sub>2</sub> annealed W (110)  
 (D) IL O/Pr/W (110)  
 (E) 두꺼운 (5L) Pr film  
 hν=60eV

Fig. 2-6은 산소의 dose양에 따르는 valence band의 구조 변화를 나타낸 것이다. Fermi level 부근에 보이는 두개의 peak은 종전에 Pr에서 관측되던 것과는 다른 형태의 peak이며 이것에 대한 자세한 분석은 현재 진행중이며 이 data는 highly correlated 된 system의 전자구조를 이해하는데 있어 매우 중요한 data이다.



〈Fig. 2-6〉 Pr/W(110) system에 O<sub>2</sub>를 dosing 할 때  
변화하는 모습. 단위는 L, hν=36eV

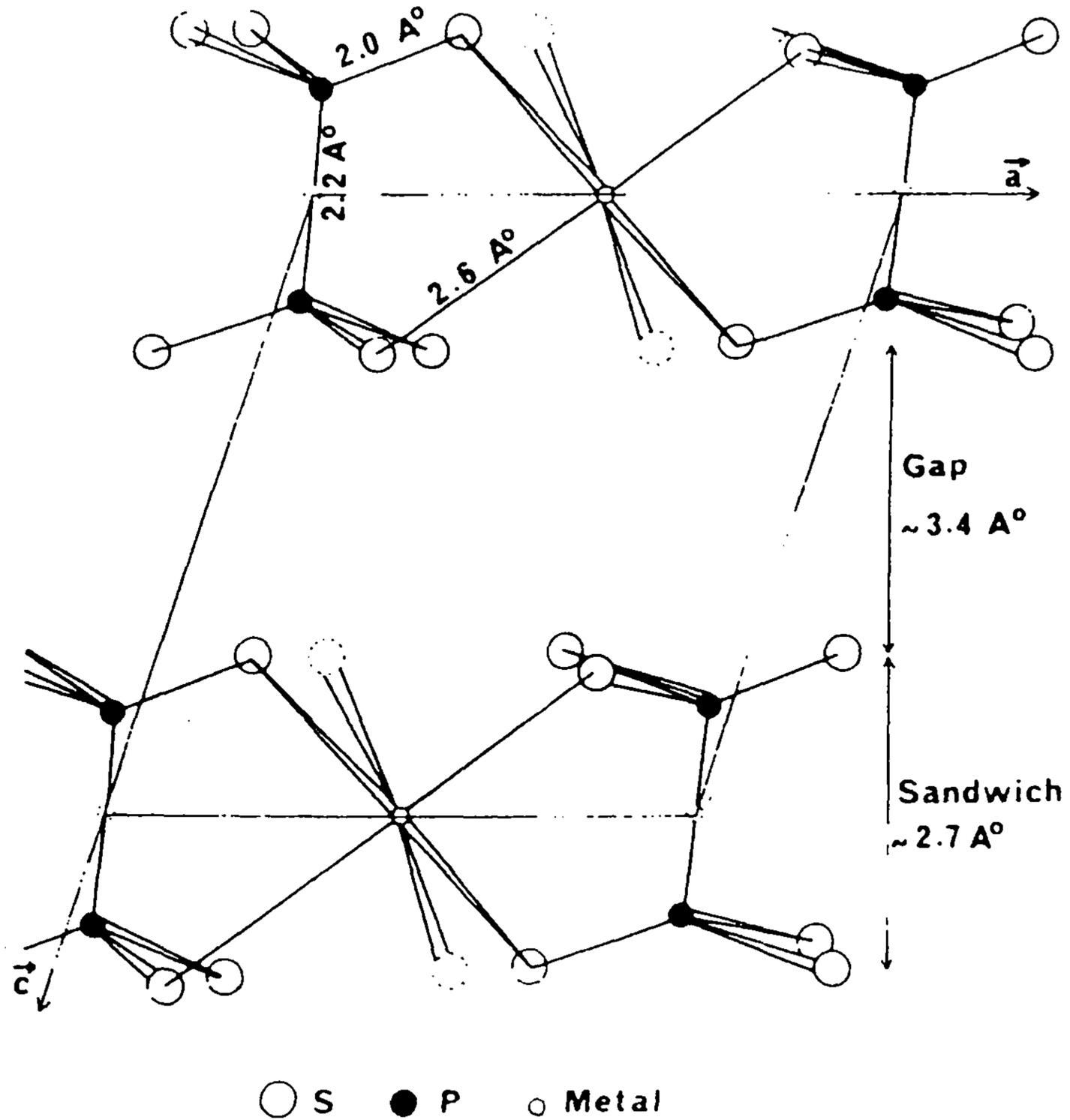
## 2. 방사광을 이용한 층상화합물의 광전자 분광법 연구

### 가. 서 론

금속 tricalcogeno-phosphate MPX<sub>3</sub>(M : 2가이온, X : S, Se 또는 Te)형은 층상 화합물(layered compound)의 일종이다. 이 화합물들은 층상구조를 가지고 있기 때문에 결정층에 서로 쌓여 있는 층내의 2차원적 화학 결합이 비교적 약하기 때문에 층상구조를 파괴하지 않고 층간에 이질적 분자, 원자, 이온을 쉽게 삽입할 수 있는 능력이 있을 뿐 아니라 이러한 화합물의 특이한 기능이 모결정에 주는 흥미있는 현상과 기초과학적 연구는 물론 리튬(Li)배터리 등의 공학적 응용면에도 기대되는 연구분야이다.

이번 연구에 쓰인 MPS<sub>3</sub> 화합물들의 intercalation 능력은 금속 M에 의존하고 그것은 이온성과 빈 d의 상태수에 의존한다. intercalation에 따른 연구를 위해서는 MPS<sub>3</sub> 화합물의 상세한 전자상태의 연구를 수행 하므로써 그 성질의 차이와

변화 등을 이해할 수 있다.



(Fig. 2-7) Perspective view of monoclinic  $MPS_3$  structure ( $C2/m$ ). (Atoms in unbroken lines have  $y$  values between  $+1/6$  and  $-1/6$  and those in broken lines are at  $y = \pm 1/3$ )

MPS<sub>3</sub> 구조는 Fig. 2-7과 같이 단상결정계 공간군(monoclinic space group) C2/m에 속한다. 그리고 300~800cm<sup>-1</sup> 영역의 진동 밴드들이 D3h 대칭과 P<sub>2</sub>S<sub>6</sub> clusters의 진동으로 생각된다.

MPS<sub>3</sub> 화합물들의 단층은 P와 S원자 사이의 강한 공유 결합으로 P<sub>2</sub>S<sub>6</sub>의 hexagonal로 형성된다. M원자들은 cluster사이에 octahedral site에 들어간다. MPS<sub>3</sub> 구조의 가전자대는 P<sub>2</sub>S<sub>6</sub> clusters의 S3s, S3p<sub>x</sub>, S3p<sub>y</sub>, P3s와 P3p<sub>z</sub> 궤도로 부터 기인된다고 생각되고 금속 M의 d 상태들은 결정장에 의해 분리되고 가전자대 상단에 위치하고 또 금지 gap에 존재한다.

NiPS<sub>3</sub>, FePS<sub>3</sub>, ZnPS<sub>3</sub>의 가전자대는 x-ray Photoemission Spectroscopy(XPS)로 연구 되어 왔다. 이 화합물들의 형태들은 (P<sub>2</sub>S<sub>6</sub>)<sup>4-</sup> 상태와 전이금속(transition) 3d 레벨의 다른 구조로 생각된다.

이 연구에서는 측정된 스펙트럼은 가전자대 구조에 의해 정리되었다. 그리고 3d 레벨로 부터 photoemission이 XPS에서의 3S와 3P 레벨의 비교에 의해 현저하다는 것을 알았고 따라서 가전자대의 설명은 모호한 점도 있다.

Resonant-photoemission(RPS)와 Constant-Initial-State(CIS) 분광법은 FePS<sub>3</sub>와 NiPS<sub>3</sub>의 가전자대 연구에 사용되어 왔다.

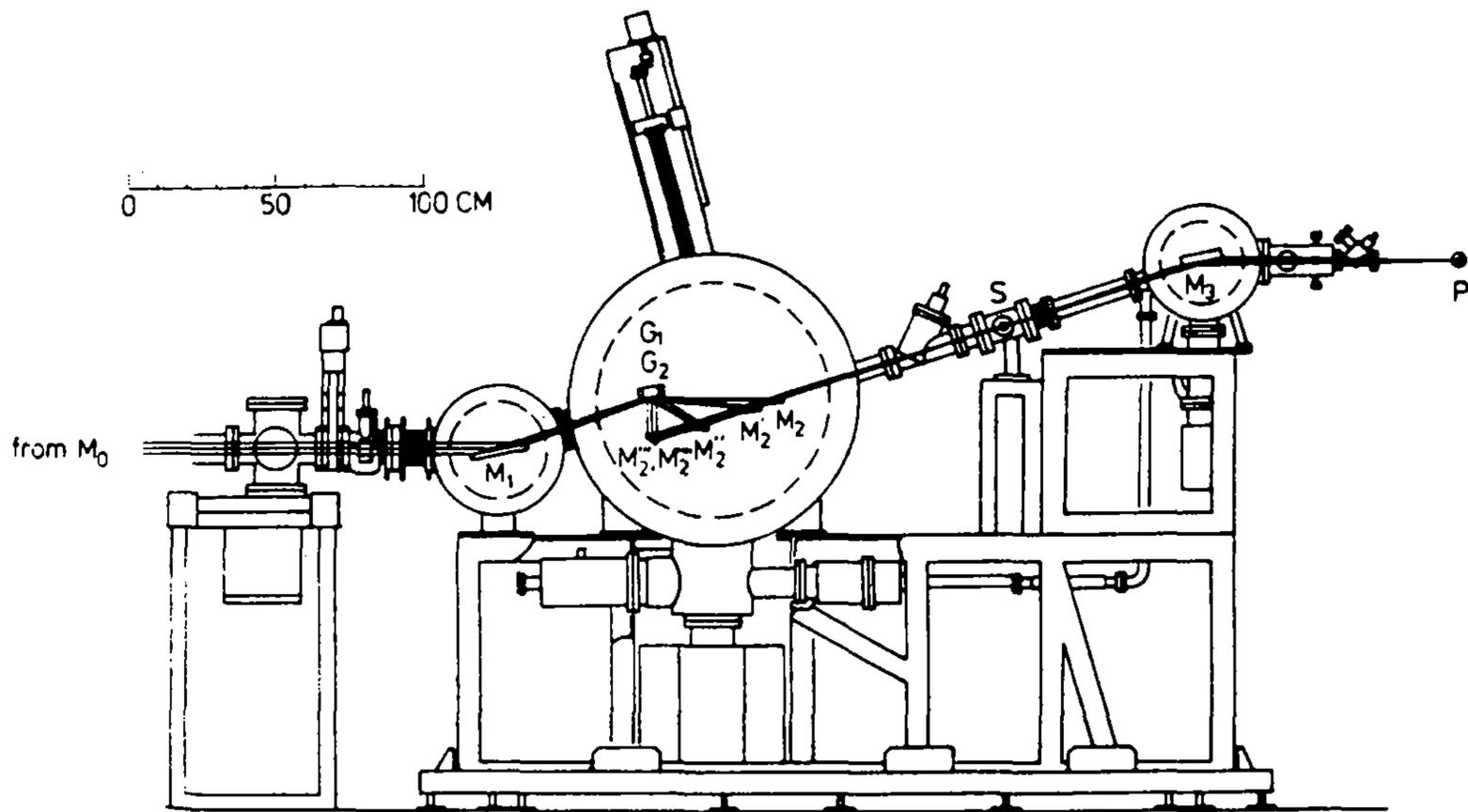
이 연구는 가전자대의 여러가지 형상이 결정장과 최종상태(final state) 효과에 의해 분리되는 금속 3d 상태에 기인하는 것을 확인했다. 그리고 satellite 구조들은 역시 주 가전자대의 높은 결합 에너지 쪽에서 관측 되었다. 그러나, 관측한 광자에너지 영역은 M<sub>2,3</sub>(3P) 흡수단으로 확인 되었다.

이 연구에서 방사광을 사용한 Ultraviolet photoemission spectroscopy(UPS)에 의해 NiPS<sub>3</sub>와 FePS<sub>3</sub>의 연구를 가전자대 구조 해명을 이해 수행되었다. 여기서 NiPS<sub>3</sub>와 FePS<sub>3</sub>의 가전자대에 각 요소의 기여를 규명하기 위하여 RPS와 CIS 방법을 사용하였다.

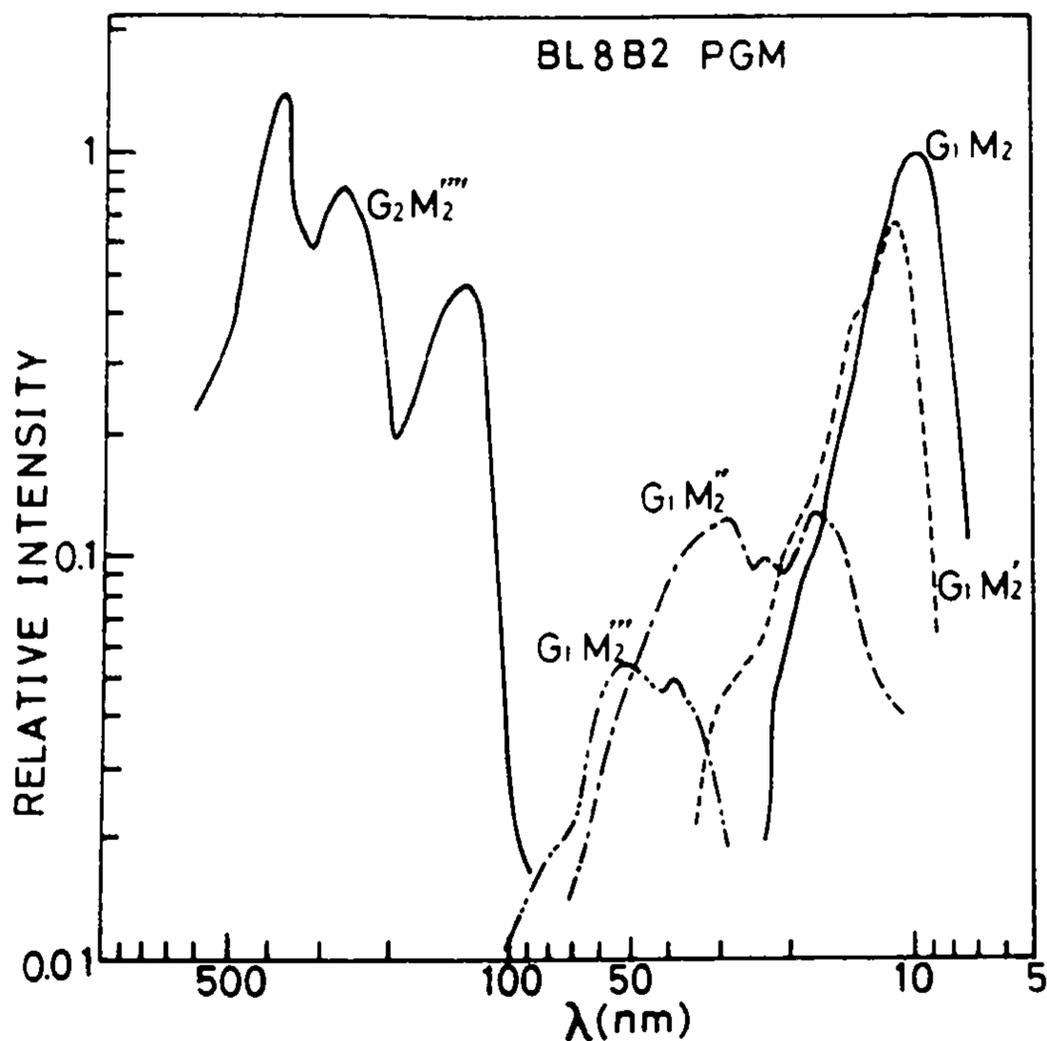
나. 실험

이 실험에 사용한 각도분해(angle-resolved) UPS 시스템은 일본 분자과학연구소 UVSOR시설의 BL8B2의 빔라인을 사용하였다.

이 빔라인은  $2\text{eV} \leq h\nu \leq 150\text{eV}$ 의 Plane-Grating Monochromator(PGM)를 사용했다. 에너지 분해능은  $0.1 \sim 0.2\text{eV}$ 이고 setup과 광학적 design은 Fig. 2-8과 같다. 그리고 PGM monochromator의 출력 spectral 분포는 Fig. 2-9와 같다.

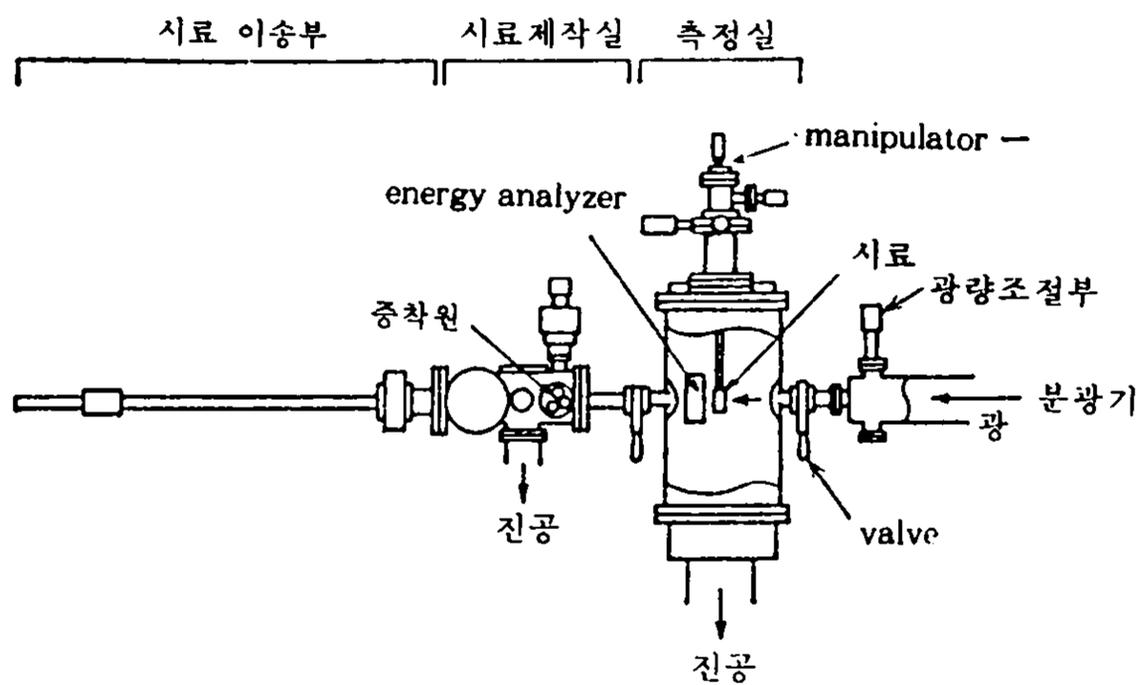


(Fig. 2-8) Schematic drawing of the PGM monochromator



〈Fig. 2-9〉 Spectral distribution of the output from the PGM monochromator

방사광은 2-150eV의 에너지 범위에서 PGM 분광기에 의해 공급되는 광을 monochromatized했다. 광전자 분광기 측정 시스템은 Fig. 2-10과 같이 시료준비 chamber, 측정 chamber와 시료 전달 시스템으로 구성되어 있다.



〈Fig. 2-10〉 A Schematic dia gram of a ups system (UVSOR BL8B2)

NiPS<sub>3</sub>와 FePS<sub>3</sub> 결정은 금속(M), 인(P), 황(S)의 원자비 1:1:3으로 혼합하여 전기도에서 한달정도 500°C 온도로 합성한 것을 사용하였다.

합성된 결정은 분말 X-선 회절과 Raman 분광기를 사용하여 동정하였다. 결정에서의 원소양은 electron microscopy 분석에 의해 결정하였다. 결정중에 하나는 silver resin에 의해 copper substrate에 고정하였고 준비 chamber(10<sup>-7</sup> Pa)에서 diamond file에 의해 cleaved 또는 scraped 하였다.

시료들을 준비 chamber에서 cleaved 또는 scraped 한후에 UPS system의 측정 chamber(~10<sup>-8</sup> Pa)로 이송하였다.

광전자 스펙트럼은 광 빔 입사각을 60°로 하고 시료 표면에서 방출되는 전자를 측정하였다. 25mm 평균반경(mean radius)의 hemispherical 전자-에너지 분석기로 측정 chamber 안에서 측정하였다.

UPS system의 Fermi 에너지(E<sub>F</sub>)는 증착된 Au film의 Fermi edge를 사용하여 결정하였다. 전분해능은 6eV의 전자통과에너지에서 Au의 Fermi edge 측정에 의해 20 ≤ hν ≤ 100의 photon 에너지 영역에서 약 0.2eV로 판명되었다.

CIS와 수율 스펙트럼은 UPS 측정에서와 같은 방법으로 광방출 전류와 방출되는 전자수로부터 측정하였다.

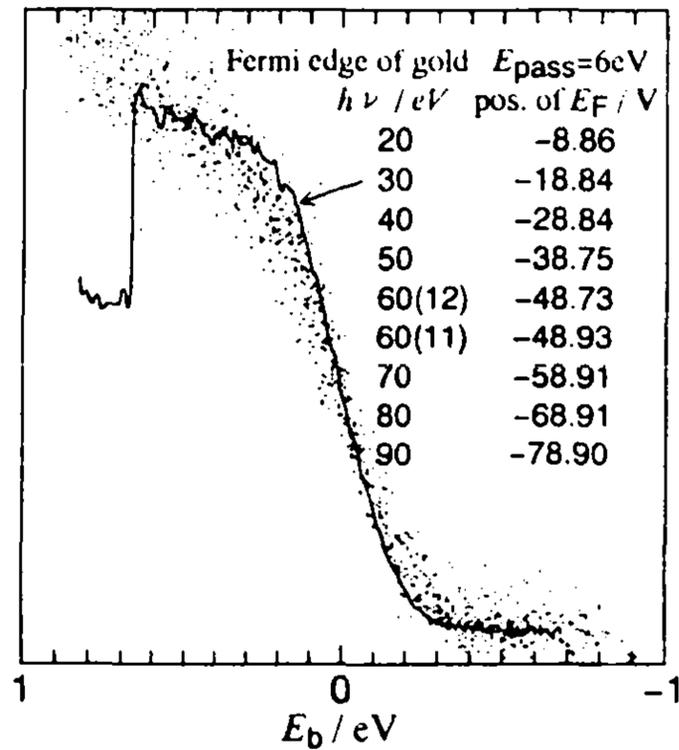
이 스펙트럼들은 광로(light path)에 Au mesh로부터의 방출 전류에 의해 hν의 의존성을 측정했고, hν의 방출 수율에 의해 보장되었다.

#### 다. 결과 및 토의

에너지 calibration을 위해서 Au를 이용 하였다.

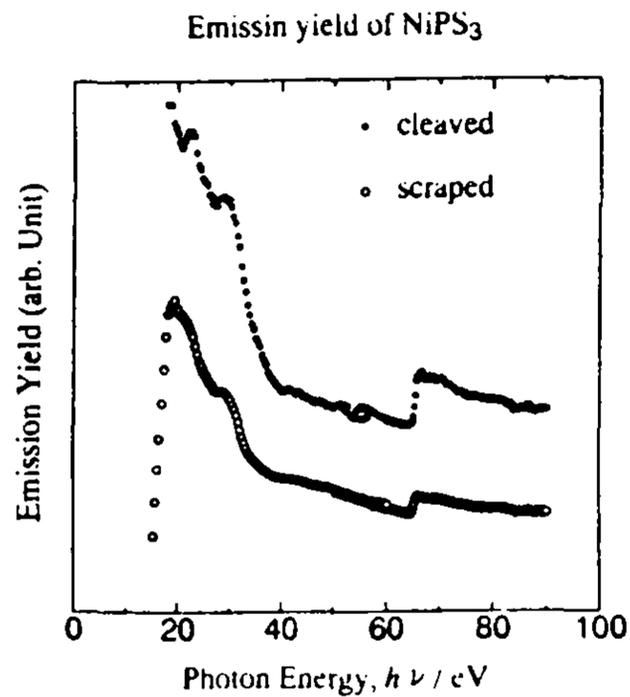
Au는 표면을 비교적 깨끗하게 만들 수 있어서 주로 사용하고 있는데 시료표면에 가열하여 증착한후 Fermi level을 구하였다. 이 값으로 결합에너지(binding energy)를 비교할 수 있다.

Fermi Level of the BL8B2 UPS System



<Fig. 2-11> Fermi Level of the BL8B2 UPS System

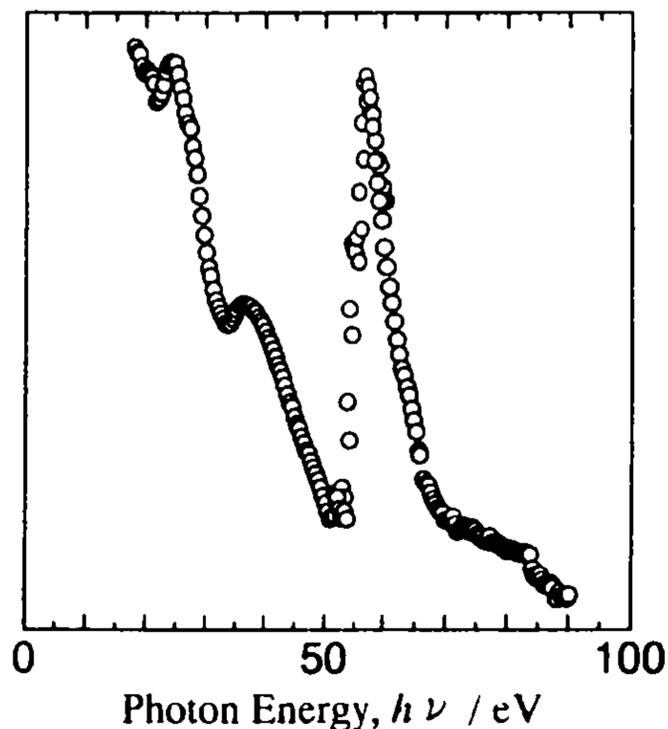
Fig. 2-11에 BL8B2 UPS system의 Fermi level에 대한 결과를 나타내었다. 여기서 분광기는 PGM(GM=12)과 PGM(GM=11)으로 나누어져 있어 PGM(GM=12)는 20eV, 30eV, 40eV, 50eV, 60eV를 측정하고 PGM(GM=11)은 60eV, 70eV, 80eV, 90eV를 측정하도록 되어 있어서 Fig. 2-11의 Fermi edge의 60(12), 60(11)은 GM=12와 GM=11의 값을 나타낸다.



<Fig. 2-12> Emission yield of NiPS<sub>3</sub>

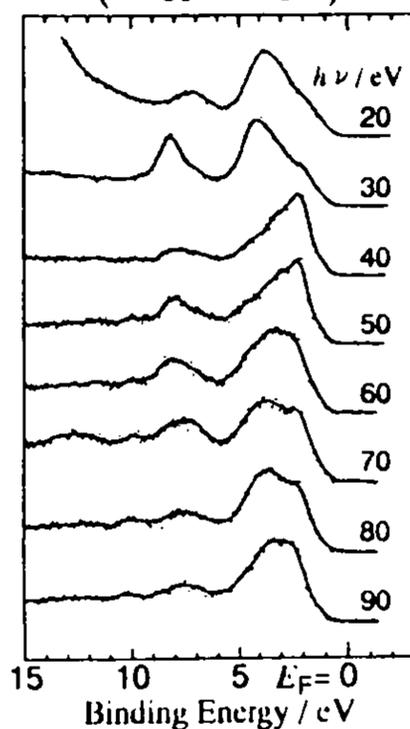
Fig. 2-12에는  $\text{NiPS}_3$ 의 emission yield를 나타내었다. cleaved 된 시료가 scraped 된 시료보다 emission yield가 큰것은 표면을 균일하게 제거하여 표면이 거칠은 scraped 된 시료보다 yield가 큰 것으로 생각되어진다. Fig. 2-13에는 scraped된  $\text{FePS}_3$ 의 yield를 나타내었다.

Yield spectrum of  $\text{FePS}_3$  crystal scraped in vacuum



〈Fig. 2-13〉 Yield spectrum of  $\text{FePS}_3$  crystal scraped in vacuum

UPS spectra of  $\text{NiPS}_3$  crystal scraped in vacuum  
( $\alpha = 60^\circ$   $\theta = 0^\circ$ )



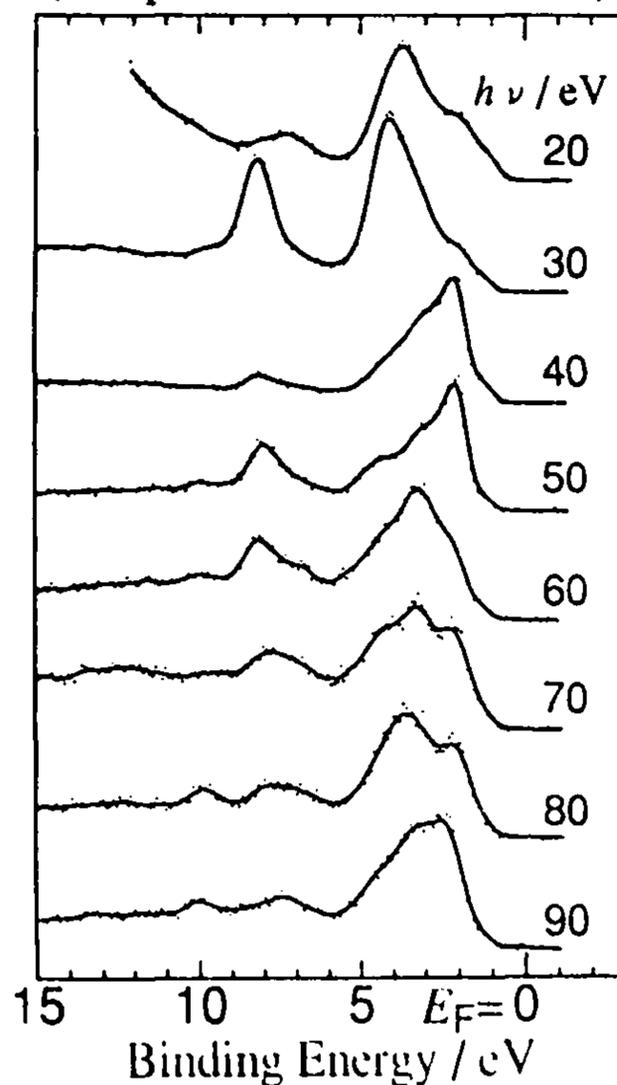
〈Fig. 2-14〉 UPS spectra of  $\text{NiPS}_3$  crystal scraped in vacuum

Fig. 2-14에 NiPS<sub>3</sub> 결정에 UPS 스펙트럼의  $h\nu$  의존성에 대해 나타내었다. 여러가지 피크 형상들이  $E_F$ 로부터 1.2, 2.2, 3.2, 4.4, 6.8, 8.0, 10.0, 12.0eV에서 관측되고 있다.

높은  $h\nu$  영역에서의 UPS 스펙트럼은 X-선 photoemission 스펙트럼과 유사하다. 원자전자껍질의 photoionization cross section으로부터, 낮은  $h\nu$ 에서 P성분이 증가하는 것을 알 수 있다.

황(sulfur)과 인(phosphorus) 사이의 원자비를 고려해 보면 4.4eV의 구조는 주로 황의 3P 궤도들로부터 기인된다. 더 나아가 높은  $h\nu$ 에 관측되는 구조들은 Ni 3d 상태들의 main과 satellite 밴드로 생각된다.

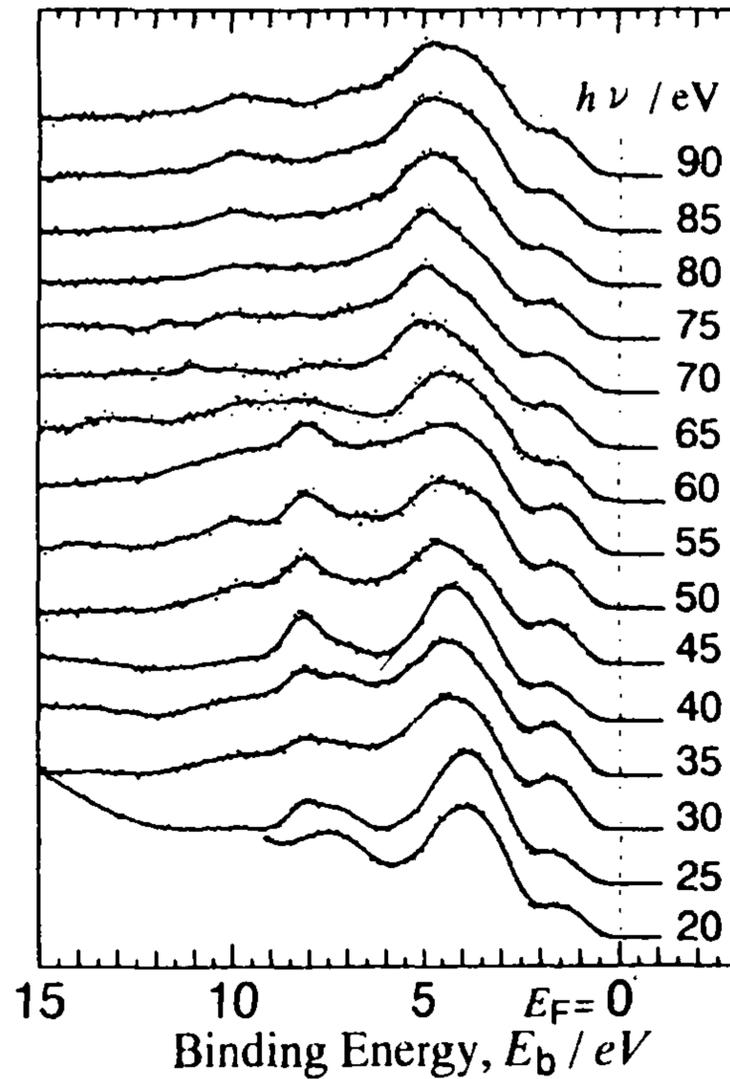
UPS spectra of NiPS<sub>3</sub> crystal cleaved in vacuum  
( ab-plane  $\alpha = 60^\circ$   $\theta = 0^\circ$  )



(Fig. 2-15) UPS spectra of NiPS<sub>3</sub> crystal scraped in vacuum

Fig. 2-15에서 cleaved 된  $\text{NiPS}_3$ 의 UPS 스펙트럼을 측정된 결과로서 scraped 되는 측정결과와 큰 차이를 보이지 않는 것을 알 수 있다.

UPS spectra of  $\text{FePS}_3$  crystal scraped in vacuum



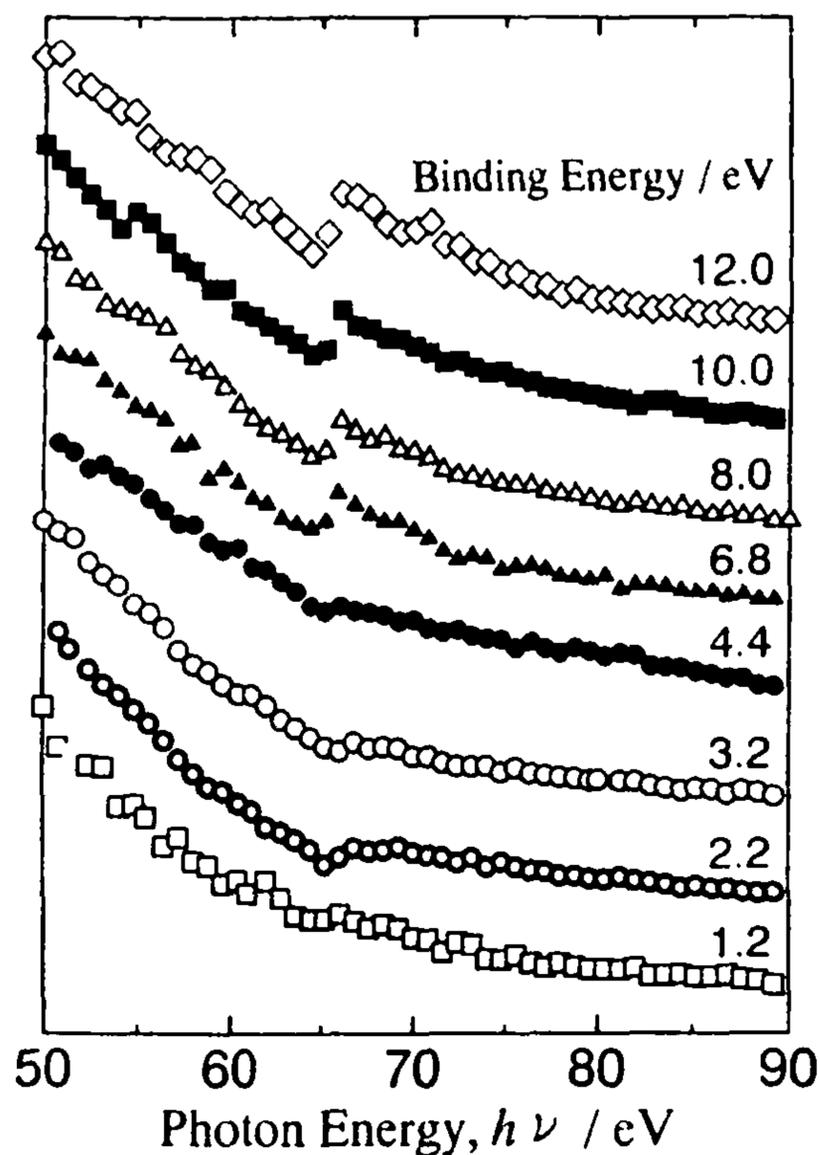
(Fig. 2-16) UPS spectra of  $\text{FePS}_3$  crystal scraped in vacuum

Fig. 2-16에 scraped 된  $\text{FePS}_3$  결정에 UPS 스펙트럼의  $h\nu$  의존성에 대해 나타내었다. 여러가지 피크 형상들이  $E_F$ 로부터 1.6, 2.5, 3.3, 5.0, 7.0, 8.1, 9.9eV에서 관측되고 있다. 2.5eV의 구조는 Fe 3d 상태의 구조로 생각되고 5.0eV의 구조들은 황의 3P 궤도들로 기인된다.

Constant-Initial-State(CIS) 스펙트럼은 전자 counting rate의  $h\nu$  의존에 측정과 광자수에 대한 normalizing에 의해 얻었다.

광자수는 광로(light path)에 설치한 gold mesh로부터의 emission current와 gold의 emission yield에 의해 결정되었다.

CIS spectra of NiPS<sub>3</sub> crystal scraped in vacuum



〈Fig. 2-17〉 CIS spectra of NiPS<sub>3</sub> crystal scraped in vacuum

Fig. 2-17에 scraped한 NiPS<sub>3</sub>의 가전자대 구조 CIS 스펙트럼을 나타냈다.

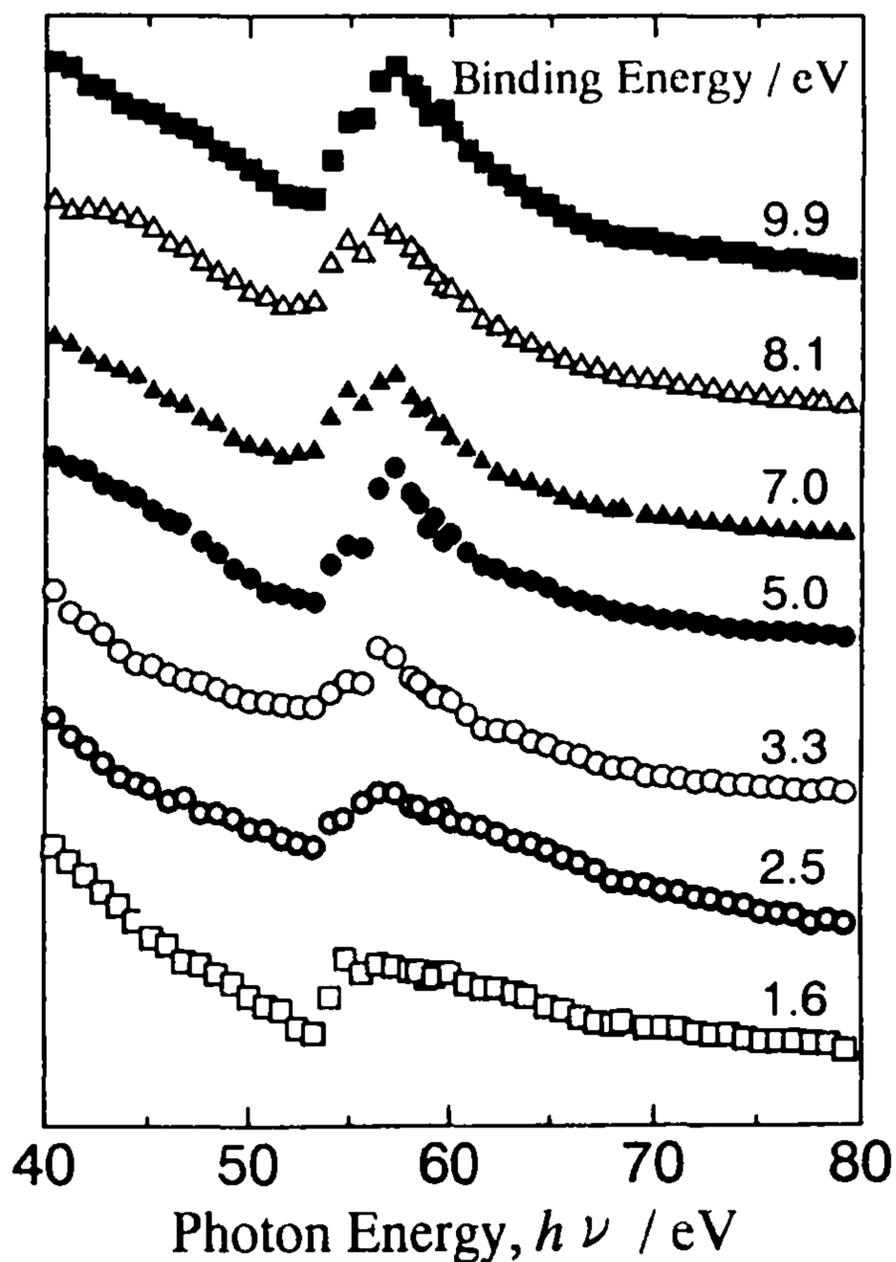
가전자대에 있어서 2.2, 6.8, 8.0, 10.0, 12eV이 스펙트럼은 Ni의 3d threshold energy에서 강한 resonance를 보이고 있다.

그리고 약한 resonance는 3.2, 4.4eV에 일어나고 있다. 그리고 1.2eV에서는 resonance가 없다.

3.2, 4.4eV 구조들이 photon energy 30eV에서 강하게 나타나고 있다. 그러므로,

2.2, 6.8, 8.0, 10.0, 12eV의 구조는 주로 Ni 3d 궤도이고 Ni 3d 궤도가 3.2, 4.4eV에서 일부 기여하고 있다. 더 나아가 1.2eV에서는 Ni 3d의 기여가 없는 것으로 생각된다.

CIS spectra of FePS<sub>3</sub> crystal scraped in vacuum



〈Fig. 2-18〉 CIS spectra of FePS<sub>3</sub> crystal scraped in vacuum

Fig. 2-18에 scraped한 FePS<sub>3</sub>의 CIS 스펙트럼을 나타내었다. 가전자대에 있어서 1.6, 2.5, 3.3, 7.0, 8.1, 9.9eV의 전체에서 Fe 3d threshold energy에서 강한 resonance를 보이고 있다.

## 라. 결론

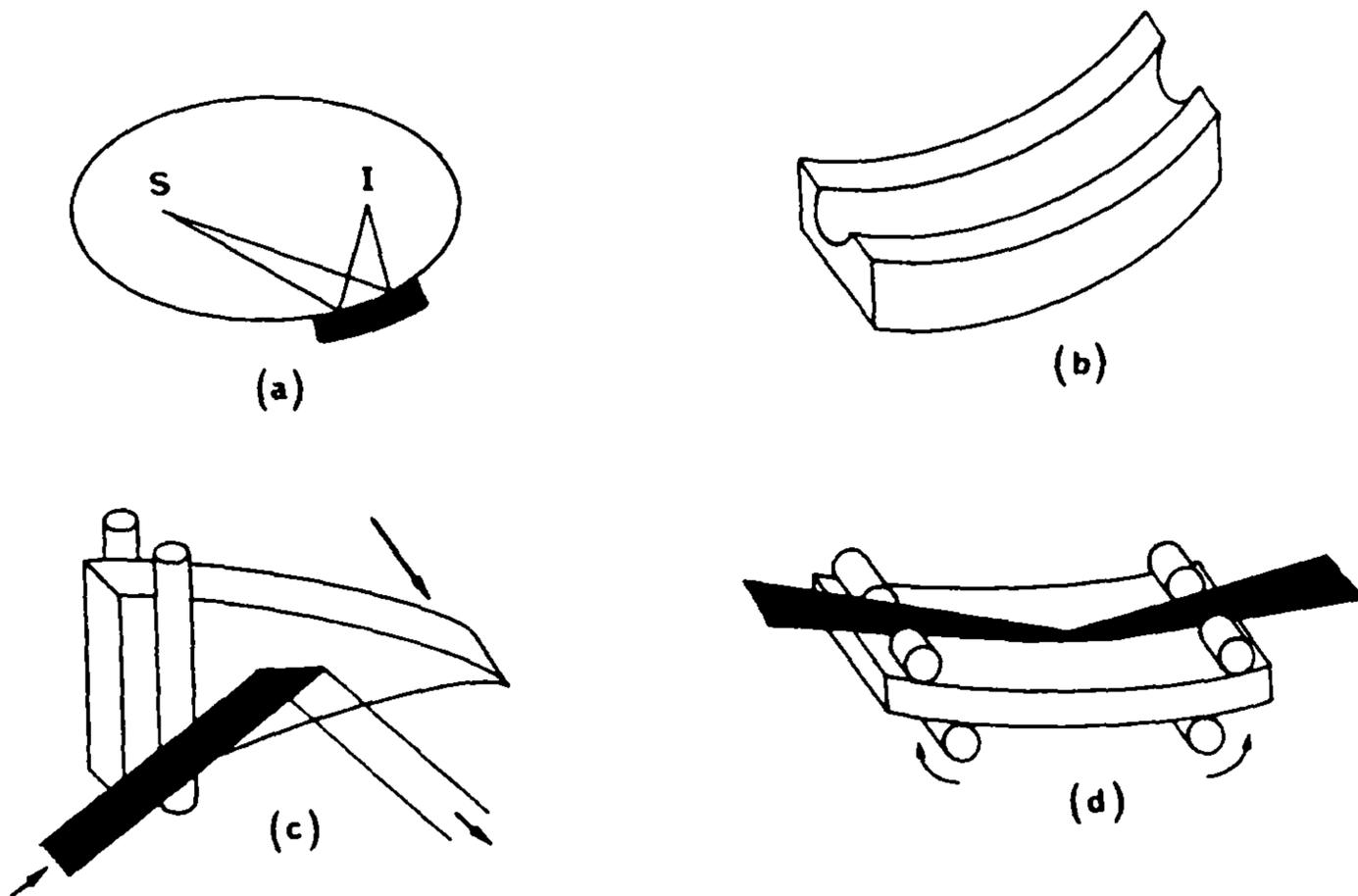
방사광을 이용한 측정결과를 통하여  $P_2S_6$  clusters와 Ni원자나 Fe원자가 가전자대의 상부에 상당히 기여하는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 거의  $ZnPS_3$ 의 photoionization threshold energy와 거의 일치하였다.

그리고  $FePS_3$ 와  $NiPS_3$ 의 전도도가  $FePS_3$ 가 좋은 것은 Fe의 가전자 대에서의 기여가 현저하기 때문인 것으로 측정결과로부터 추정할 수 있다.

# 제 3 장 활용 및 기대효과

## 제 1 절 분광기

현재 KRISS에서 설치 준비중인 빔라인은 VUV 영역의 기초 및 응용실험과 VUV 영역의 표준과 확립연구를 위한 것으로 여기서는 VUV영역에 사용되는 grating 분광기의 원리 및 일반적인 사항에 관하여 논하기로 한다.



〈Fig. 3-1〉 Focussing shapes for X-ray and VUV optics. (a) Ideal ellipsoid to produce aberration free image, I, of source S. (b) Toroid, produced by bending a cylinder, closely approximating to an ellipsoid. A cylinder profile can be produced by bending a triangular plate at its apex (c), or by exerting a rectangular plate to opposite couples at either end (d).

Fig.3-1(a)에 집속되는 point source 대한 적절한 mirror의 구성에서 타원형 (elliptical) geometry를 나타내었다. 타원형 mirror들은 얇은 입사각, 비슷한 광원,

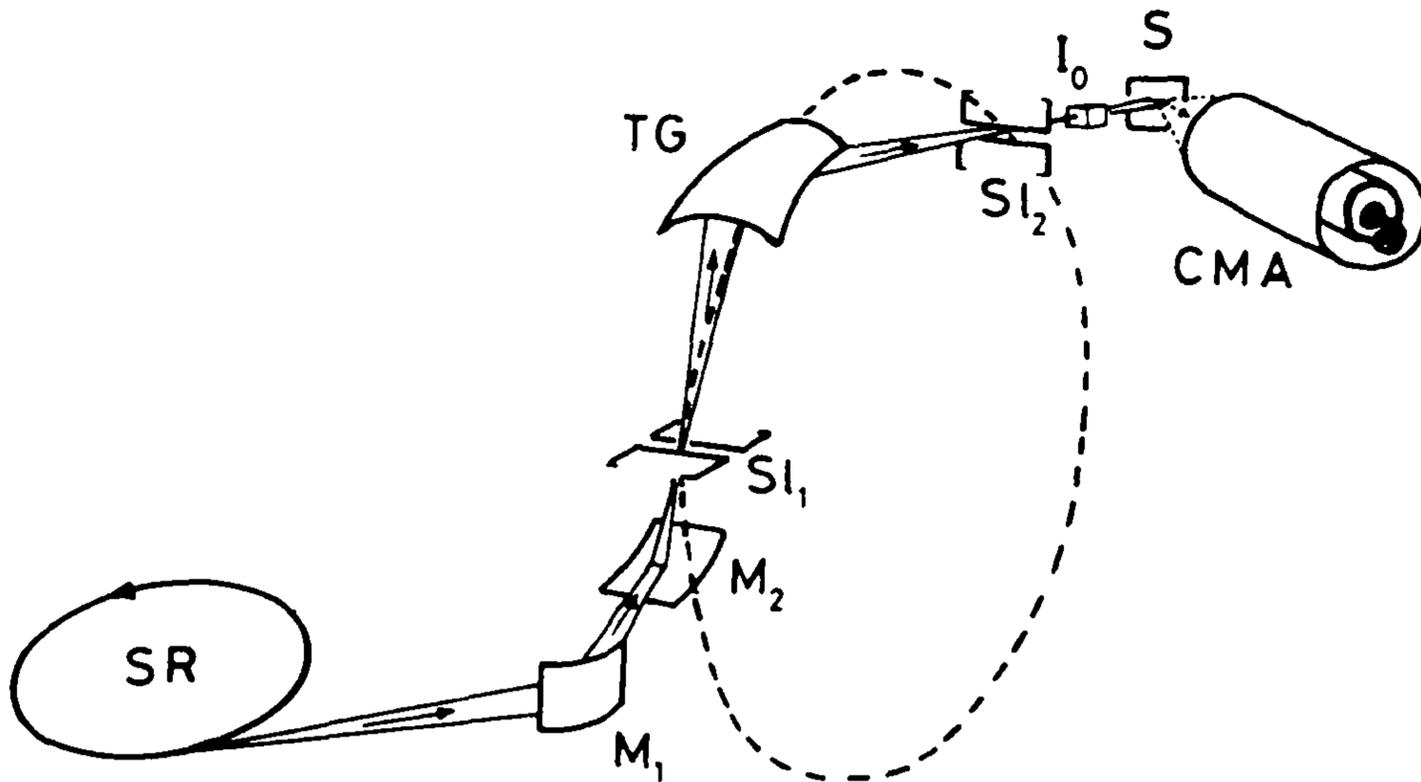
image 거리 등을 나타낼 수 있지만 세로와 가로 방향의 curvature는 광범위하게 다르다.

만약 mirror에서 광원, image 거리에서 mirror를 각각 U와 V로 하면 세로와 가로 반경은  $R_M$ 과  $R_S$ 는

$$\frac{1}{R_M} = \frac{\sin\theta}{2} \left( \frac{1}{U} + \frac{1}{V} \right), \quad \frac{1}{R_S} = \frac{1}{2\sin\theta} \left( \frac{1}{U} + \frac{1}{V} \right), \quad (3-1)$$

로 주어진다.

단색의 빛은 반사되고 focussing 대해 mirror 방정식(3-1)에 따른다.

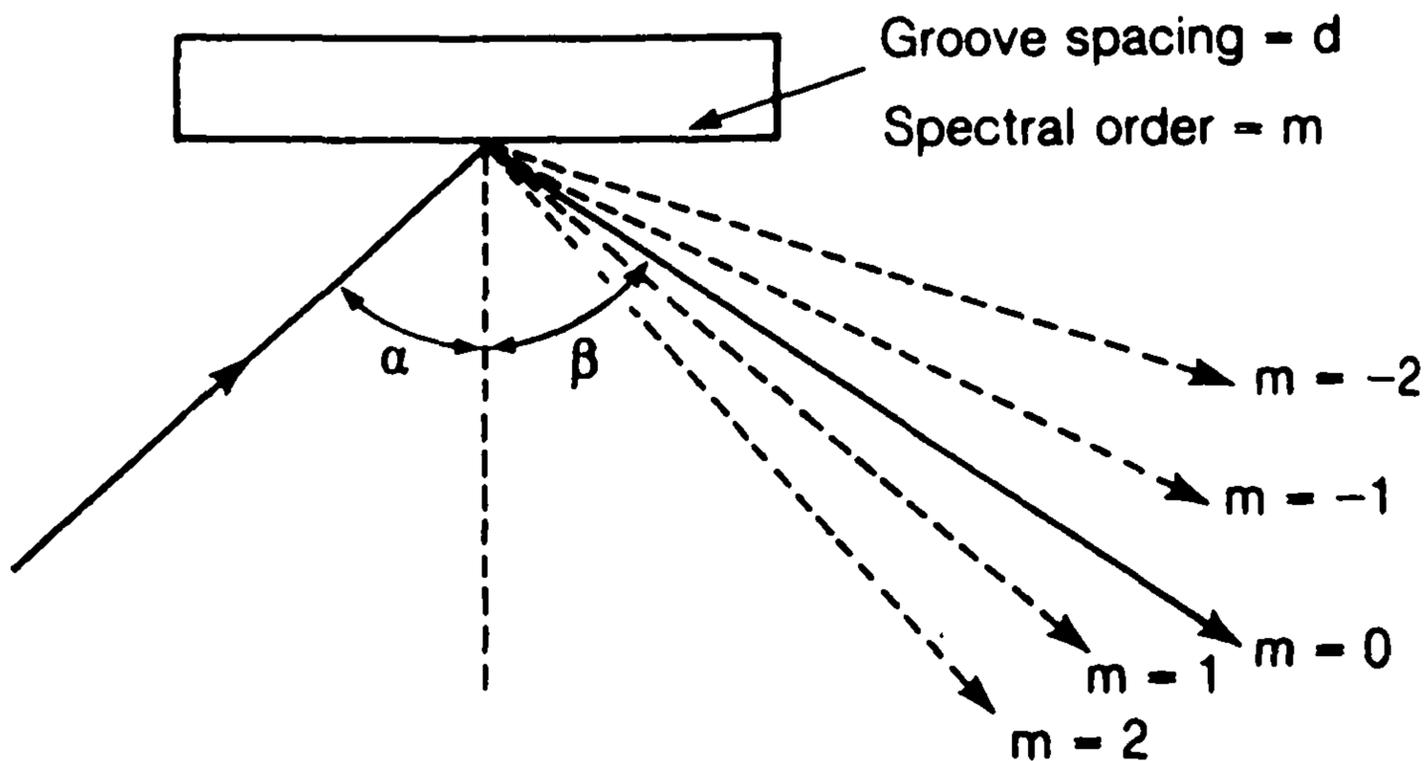


(Fig. 3-2) Layout for UV photoemission experiments.  $M_{1, 2}$  cylindrical mirrors;  $Sl_{1, 2}$  slits; TG, toroidal grating;  $I_0$ , reference monitor; S, specimen; CMA, cylindrical mirror analyser.

Fig. 3-2에 나타난 것처럼 tangent point source는 circle에 위치하거나 입사스  
릿의 분광기의 pre-optics에 의해 image 된다.

출구 스톱은 항상 이 원주 위에 있고, 광자 파장 또는 에너지를 선택하고 원하  
지 않는 harmonics나 높은 orders를 제거할 때 필요하다.

이것은 Fig. 3-3에 나타냈다. 이 그림에서 plane grating으로부터의 분산을 나  
타내고 있다.



〈Fig. 3-3〉 Notation for diffraction by a grating;  $\alpha$  and  $\beta$  are the angles of  
incidence and diffraction, respectively. The deviation angle,  $\alpha - \beta$  is  $2\theta$ .  
The spectral orders are  $m$ .

Grating 방정식은 다음과 같다.

$$m\lambda = d(\sin\alpha + \sin\beta) \quad (3-2)$$

여기서  $\alpha$ 는 입사각,  $\lambda$ 는 회절된 파장,  $m$ 은 order로써  $\beta$ 를 통해 분산된다.  
 $d$ 는 line pitch이다.

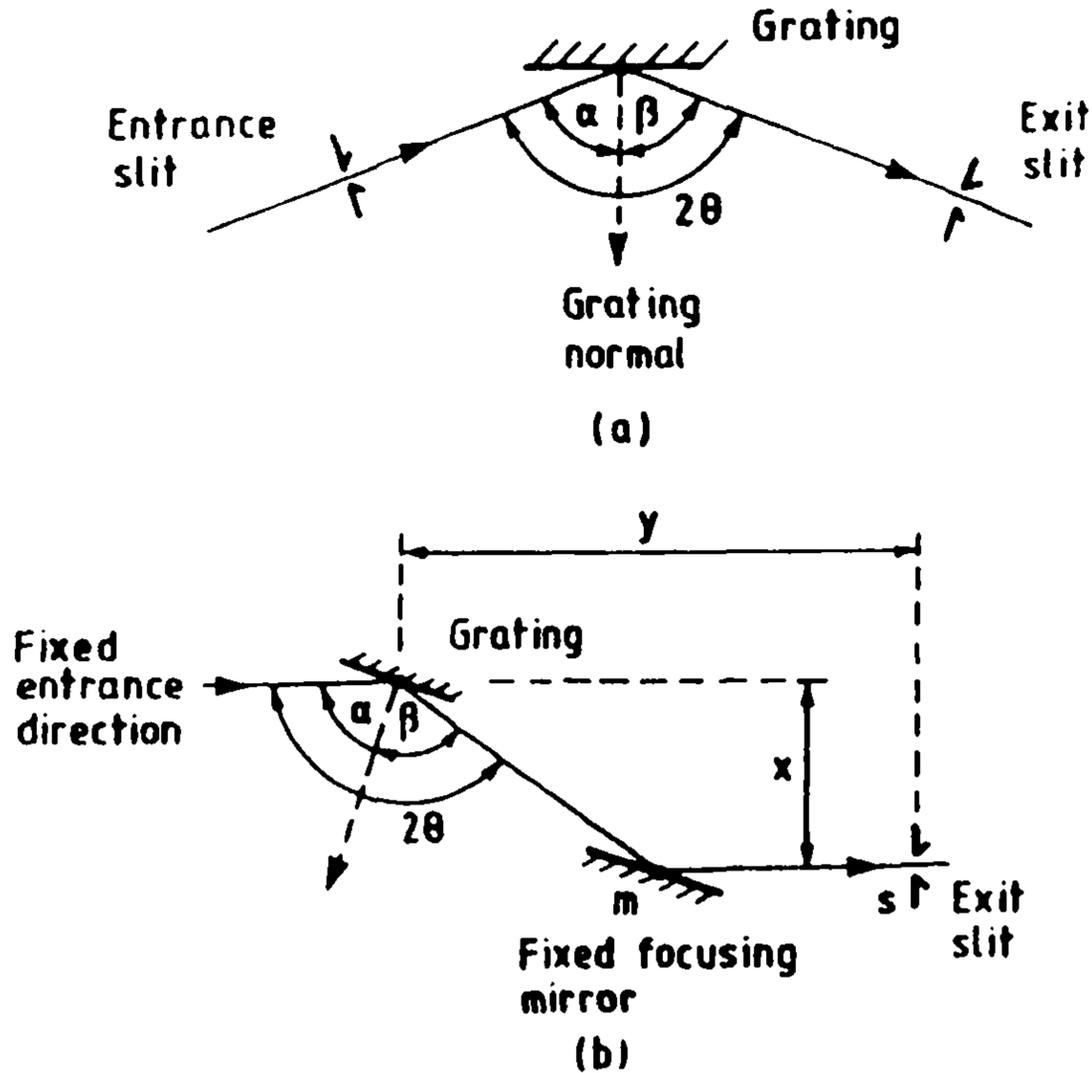
방사광 광원에 가장 일반적으로 사용되는 것은 편차각  $2\theta$  ( $\alpha - \beta = 2\theta$ )로 식(3-2)를

$$\lambda = \frac{2d}{m} \cos\theta \sin\theta (\theta + \beta) \quad (3-3)$$

$\alpha$ 와  $\beta$ 가  $90^\circ$  이상 초과할 수 없기 때문에 horizontal 파장은

$$\lambda = \frac{2d}{m} \cos^2\theta \quad (3-4)$$

로 주어진다. mm당 700~2000라인의 전형적 라인밀도를 가지기 때문에  $2\theta$ 는  $100 \sim 1000\text{\AA}$  ( $120 \sim 12\text{eV}$ ) 범위에서 VUV 파장은 약  $100^\circ$ 이다.



(Fig. 3-4) Two geometries for grating monochromators, both with fixed grating deviation angle,  $2\theta$ . (a) Single element, toroidal grating; (b) two elements, plane grating and mirror

Fig. 3-4에 두개의 고정된 편차각(deviation angle)의 geometry를 나타내었다. (a)에는 white source의 입사스릿에 focussed 된 것이다. 단색 무비점 수차(stigmatic) image가 exit 스릿에서 형성되기 때문에 toroid 모양으로 grating이 형성된다. 이 toroidal grating monochromator(TGM)이 보통 photoemission 실험에 사용된다. 그리고 plane grating monochromator(PGM)은 (b)에 나타 내었고 focussed 되지 않은 단색빛은 exit 스릿의 고정된 타원형 mirror 의해 focussed 된다.

이러한 arrangement가 입사 및 exit 빔을 parallel로 한다.

Fig. 3-4(a)에 TGM에 대해 나타내었다.

TGMs는 단지 한정된 파장범위에 한정된 분해능에 사용된다. 만약 화살촉 모양의 focussing(sagittal focussing)이 grating profile로부터 제거된다면 한정된 파장 범위와 분해능을 개선할 수 있을 것이다.

Sagittal curvature는 meridian curvature 보다 대단히 크기 때문에 spherical grating을 사용할 수 있다.

이것은 cylinder 또는 toroid 보다 fabricate하기 쉽다.

그래서 spherical grating monochromater의 pre-optics는 단지 horizontal에 있어서 focus할 필요가 있거나 exit 스릿에서 non-dispersing 방향이 필요하다.

그러한 최근 스릿이 없는 (slitless) SGM의 design이 쓰이기 시작하게 되었다.

## 제 2 절 검출기

방사광은 강도(intensity), 파장범위, 집속(collimation)때문에 엄격한 광자 검출 장치가 요구된다. 그래서 IR에 경 X-선 영역의 스펙트럼을 측정할 수 있는 검출기가 필요하다.

Table 3-1에 방사광 실험에 쓰이는 광자 검출기 및 특성과 쓰이는 곳에 관해 나타내었다.

(Table 3-1) Characteristics and uses of photon detectors for synchrotron radiation experiments

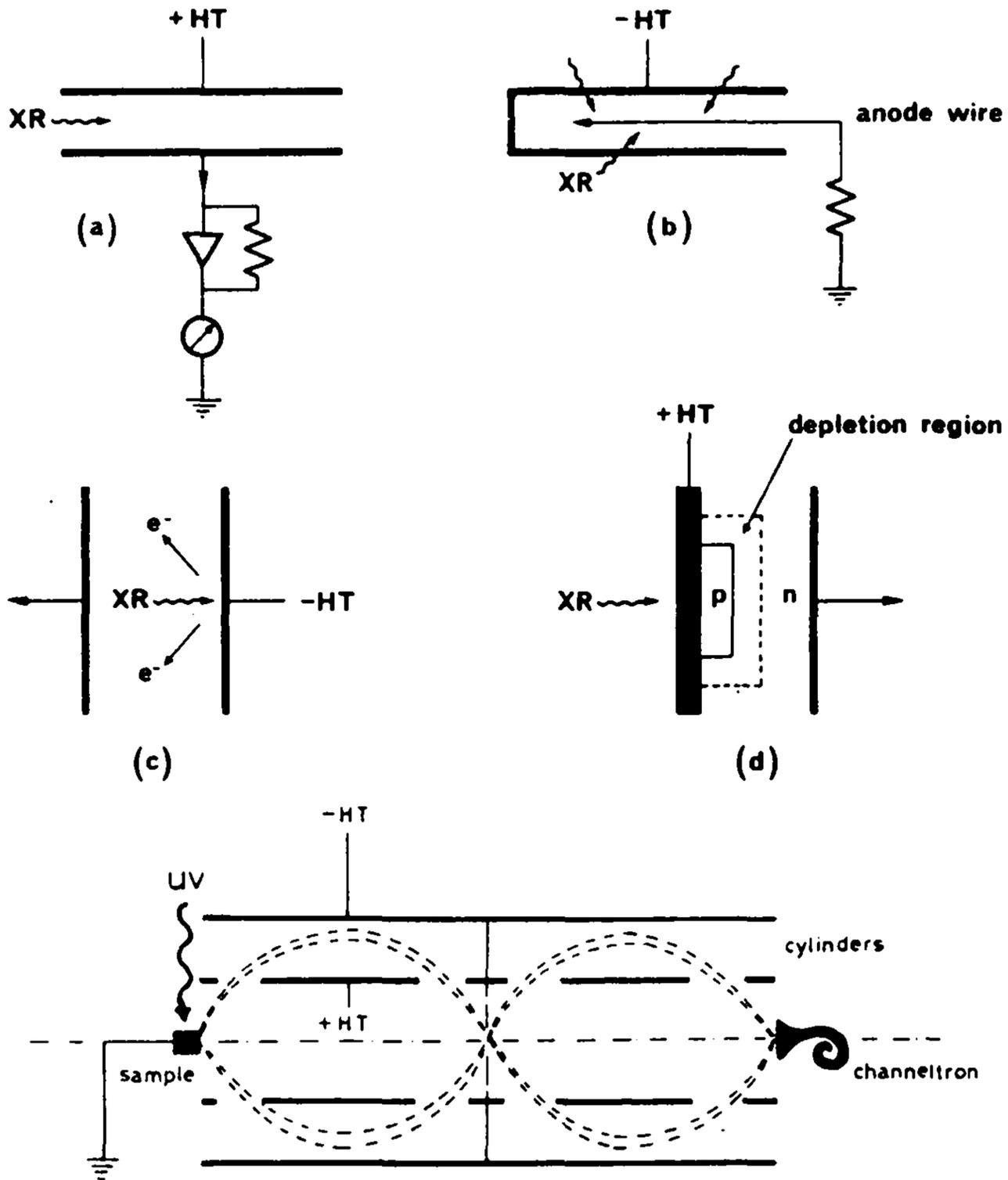
| Detector                            | Dimension | $\Delta E/E$ | Spatial Resolution ( $\mu\text{m}$ ) | Sensitivity ( $\text{ps}^{-1}$ ) | Count rate limit ( $\text{ps}^{-1}$ ) | Experiment*    |
|-------------------------------------|-----------|--------------|--------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|----------------|
| Ionisation chambers                 | 0         | None         | None                                 | x-ray                            | $10^{12}$                             | XAS            |
| Photoemission diodes                | 0         | None         | None                                 | x-ray                            | $10^{12}$                             | XAS            |
|                                     |           |              |                                      | UV                               | $10^{14}$                             | UVS            |
| Scintillation counters              | 0         | 0.3          | None                                 | x-ray                            | $5 \times 10^5$                       | XAS, XRD       |
|                                     |           |              | None                                 | UV                               | $5 \times 10^7$                       | UVS            |
| Solid state detectors (SSDs)        | 0         | 0.03         | None                                 | x-ray                            | $10^4$                                | XAS, EDD, TEA  |
| Cylindrical mirror analysers (CMAs) | 0         | 0.003        | None                                 | Electrons                        | $10^6$                                | UVS, UPS, XPS  |
| Proportional counters               | 0,1,2     | 0.5<br>None  | 100                                  | x-ray                            | $10^5$<br>per wire                    | XAS, SAXS, XRD |
| Photodiode arrays (PDAs)            | 1         |              | 25                                   | x-ray                            | $10^9$                                | EDE, SAXS      |
|                                     | 2         | None         |                                      |                                  |                                       |                |
| Charged couple devices (CCDs)       |           |              | 25                                   | x-ray                            | $10^9$                                | PX, LD         |
|                                     | 2         | None         |                                      |                                  |                                       |                |
| Photographic film                   | 2         | None         | 1                                    | x-ray                            | $10^{12}$                             | PX, SAXS, XRT  |
| TV detector                         | 2         | None         | 5                                    | x-ray                            | $10^8$                                | PX             |
| Photoresist                         | 2         | None         | 0.005                                | Soft x-ray                       | $10^{12}$                             | SXRM           |
| Image plates                        | 2         | None         | 50                                   | x-ray                            | $10^{12}$                             | PX, LD, SAXS   |

\* XAS, x-ray absorption spectroscopy; UVS, ultra violet spectroscopy; XRD, x-ray diffraction; EDD, energy dispersive diffraction; TEA, trace element analysis; SAXS, small angle x-ray scattering; EDE, energy dispersive EXAFS, PS, protein crystallography; LD, Laue diffraction; XRT, x-ray topography; SXRM, soft-x-ray microscopy.

### 1. Low 에너지 분해능 검출기

Ionisation chambers는 가장 단순한 X-선 검출기이다. 이 검출기의 조작용 rare gas의 광이온화(photoionisation)를 기본으로 한다.

이 검출기에 대해 Fig. 3-5(a)에 나타내었다.



(Fig. 3-5) Schematics for various x-ray detectors. (a) Ionisation chamber; (b) proportional counter; (c) photoemission diode; (d) solid state detector; (e) cylindrical mirror analyser

전형적으로 기체는 He과 Ar을 사용하고 전장은 약 수  $100\text{Vcm}^{-1}$ 를 건다. 들어오는 X-선 광자들은 광전자적으로 흡수된다. 여기서 전자들은 Auger 과정으로 역시 방출될 것이다.

검출기의 장점으로서 linearity와 안전성이다. 거의  $30\text{eV}$ 가 단전자 이온쌍을 생성하는데 필요하고 그 합성 이온전류는 직접 X-선 강도와 비례한다. 그러나 ionisation chamber는 낮은 강도의 X-선을 측정하는데는 적절하지 않다. 파장의 response는 금속의 광자흡수 특성과 전자 escape depth에 따라 결정된다. Cu는 연 X-선 에너지에 쓰이고, 반면에 Al은  $10\sim 250\text{eV}$  UV영역에서 가장 좋다.

Ion chamber 나 photoemission diode와 다르게 proportional counter는 gain을 나타낼 수 있다. 비탄성 충돌에 의해 생성되는 전자의 합성 가속은 더 많은 ionization 때문이다.

낮은 빛에 대해서는 scintillation counters를 사용한다. 이러한 검출기들은 X-선이나 UV를 흡수하는 형광스크린을 포함하고 낮은 에너지에서 광자를 재방출한다. 그 형광은 UV 범위에 일반적으로 쓰이고 광전자 튜브(PM tube)에 의해 높은 효율로 검출된다.

## 2. High 에너지 분해능 검출기

주로 solid state photo conductive detector (SSD)가 쓰이고 있다. 반도체로 Si와 Ge를 보통 사용하고 전자 홀 쌍들은 흡수된 광자에 의해 생성된다. 각 쌍들은 약  $3\text{eV}$ 의 흡수에너지가 필요하다.

Multichannel 분석기는 흡수 방사선의 에너지 스펙트럼을 나타낸다.

SSD의 가장 일반적인 것은 Fig. 3-5(d)의 역 bias p-n 접합을 사용한다. p-n 접합은 보통 p type 물질에 Li을 diffusing해서 제작한다. 이 검출기는 pre-amplifier의 열 노이즈를 최소화는 물론  $\text{Li}^+$ 의 확산을 방지하기 위해 액체 질소 온

도에서 조작되고 있다.

### 3. 광전자 분석기

여러가지 전자분석기들이 있고, cylindrical mirror analyser(CMA)를 Fig. 3-5 (e)에 나타내었다. 이 분석기는 수집효율이 가장 좋고 photoemission 실험에 유용하게 사용된다. 에너지 분해능은 시료의 위치에 따라 상당히 의존하고, 그리고 만약 재배치(reorientation)가 분극현상(polarisation phenomena)을 조사하는데 필요하다면 고려해야 할 문제이다.

그러나 이러한 효과들은 Fig. 3-5(e)의 CMA arrangement의 double pass에 의해 감소시킬 수 있다.

### 4. Multidetectors

빠른 data 수집을 위해서는 동시에 여러 분산된 data를 수집할 필요가 있다.

One-dimensional, position sensitive 검출기 중에서 가장 성공적인 장치는 single wire anode proportional counter이다.

Fig. 3-5(b)에 나타난 것처럼 기체를 채운 chamber에 직선이나 곡선으로 anode를 넣고 있다. wire chamber는 항상 reactive rare gas 혼합체(예를들어 Ar/CH<sub>4</sub>)를 쓰고 있다. 이러한 검출기는 diffraction 실험에 사용되고 있다.

Two-dimensional 검출기는 one-dimensional 검출기를 이차원으로 확장한 것이다. 이 검출기는 총 count rate를 10<sup>8</sup>counts/s를 초과할 수 있다.

가장 일반적인 이 차원 solid state array는 charged coupled device(CCD)이다. Pixel 크기(25×25Mm)는 PDAs보다 적고, 조용하고 빠르게 작동한다.

### 제 3 절 방사광을 이용한 표면 연구

방사광을 이용한 표면 연구는 크게 4가지로 나뉜다.

- (1) Angle-Integrated(or resolved) photoemission
- (2) Surface absorption
- (3) Surface extended x-ray absorption fine structure
- (4) Surface diffraction

위와 같은 technique을 이용하면 표면의 물리적, 화학적인 정보를 다양하게 얻을 수 있게 된다. 다음은 위의 technique에 대한 대략적인 설명을 나타낸다.

#### 1. Surface Absorption

흡수측정은 물질의 absorption 상수와 dielectric constant의 허수부에 해당하는 값이 관련된 빛의 attenuation 값을 주게 된다. 이 두 변수는 물질의 전자구조에 따라 달라지게 된다. absorption 상수  $\alpha$ 는  $4\pi k/\lambda$ , dielectric 상수  $\epsilon_2$ 는  $2nk = n\alpha\lambda/2\pi$ 로 주어진다. Absorption을 측정하는 가장 기본적인 방법은 서로 다른 두께를 갖는 sample에 대하여 transmission을 측정하는 방법이다.  $\alpha$ 의 값이  $10^{-6}\text{cm}^{-1}$ 인 관계도 매우 얇은 시료가 필요하게 된다. Reflectivity에 위한 측정도 가능하지만 soft x-ray 영역에서  $n$ 은 거의 1에 가까우므로 scattering에 의해 많은 오차가 생기게 된다. 여기서는 yield technique에 대하여 먼저 설명하기로 하자. Yield technique은 absorption process가 energetic core-hole을 형성하는 사실을 이용한 것이다. 그 core-hole의 decay yield는 absorption에 비례하는 signal을 주게 된다.

Yield의 측정은 그 에너지에 따라 표면 혹은 계면에 sensitive하게 조절할 수 있다는 점에서 매우 유용하다. Yield를 측정하는 parameter로 secondary electron, Auger electron 혹은 fluorescent photon을 측정하게 된다.

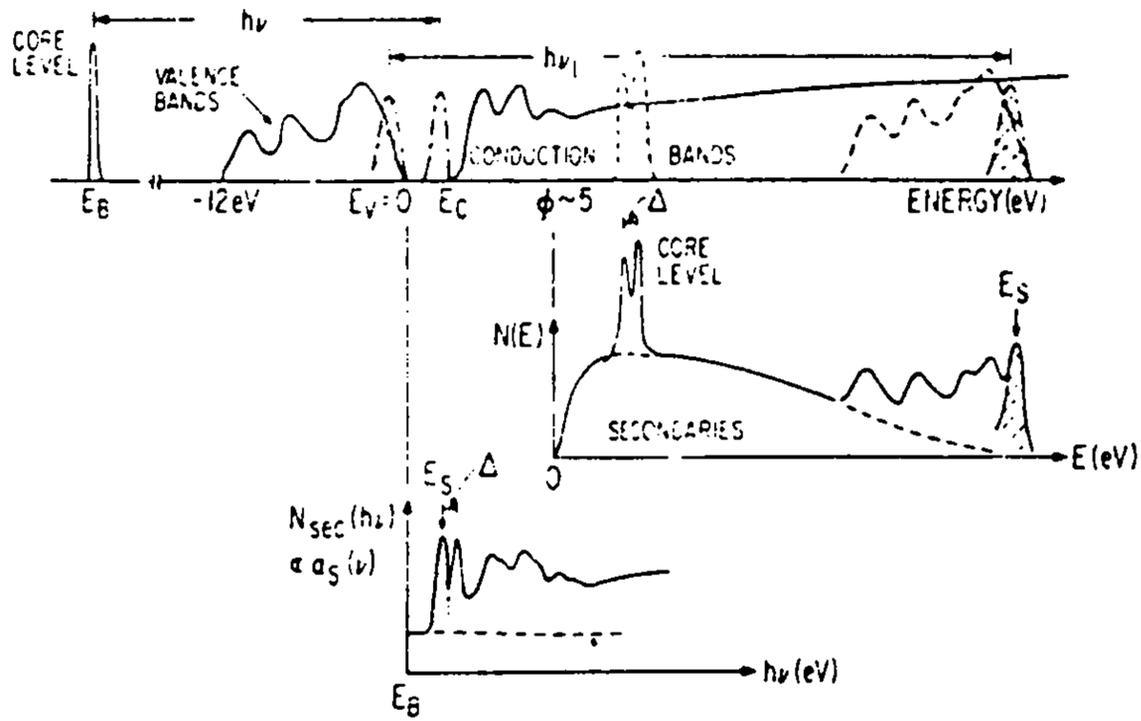
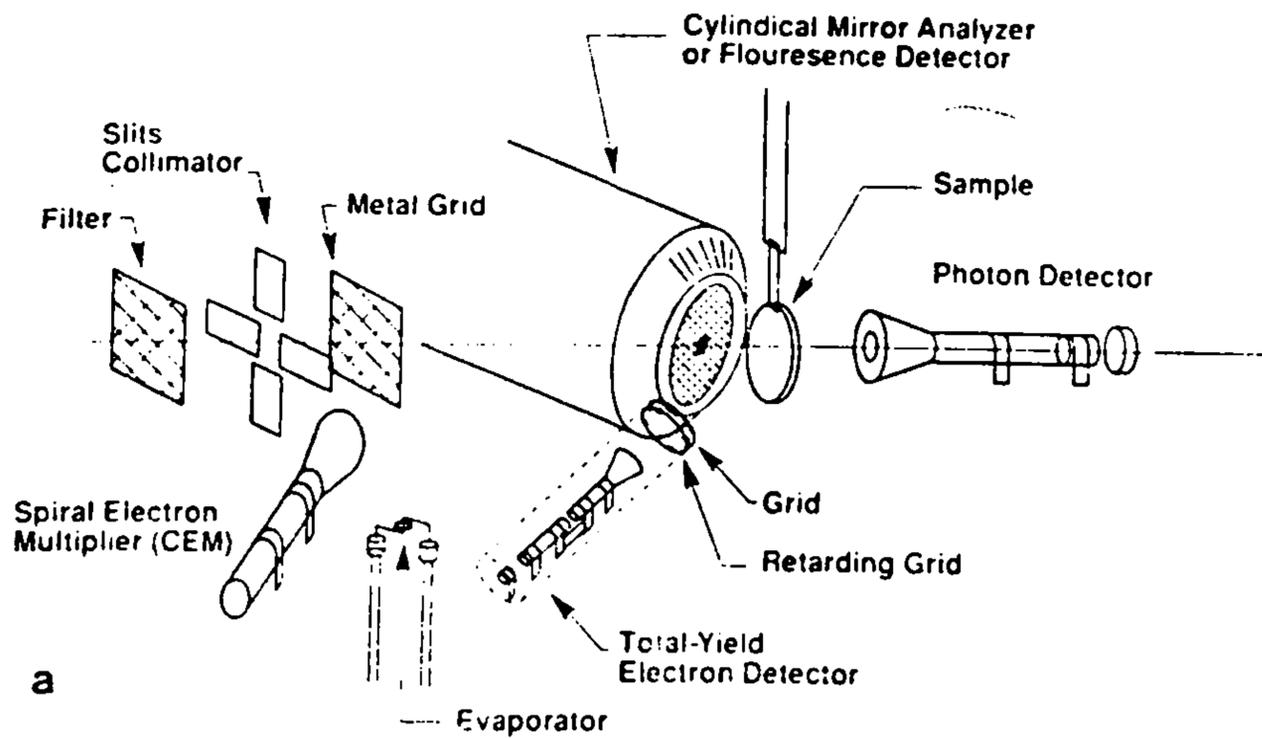


Fig. 3-6. absorption spectrum의 보기

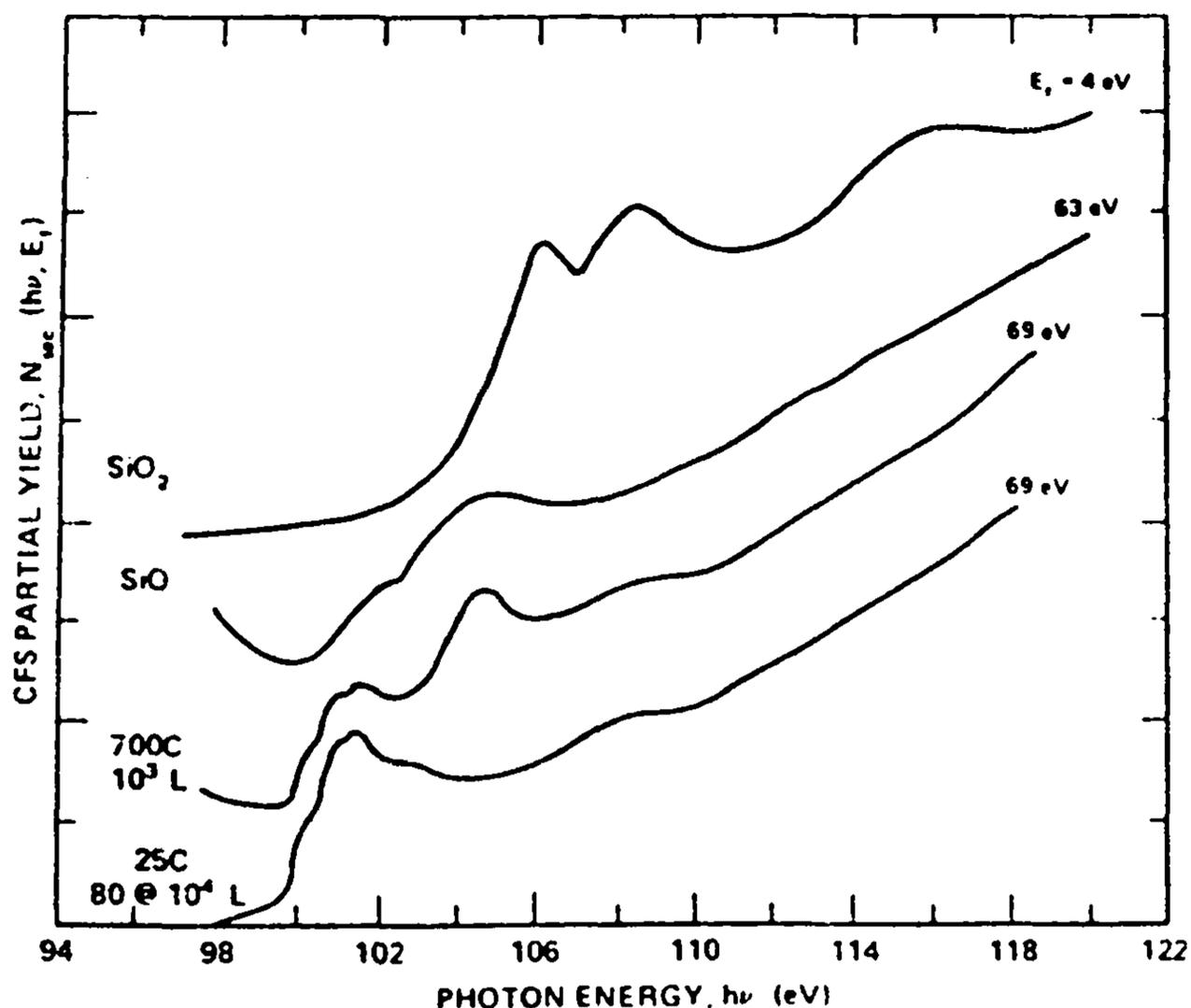
<fig. 3-6>은 absorption 실험의 한 예를 나타내고 있다.



<fig. 3-7> Yield 측정의 여러 형태

Fig. 3-7은 yield 측정의 여러가지 모습을 보여준다. 이 그림 3-6 중 위의 부분은 density of state를 나타낸다. 중간 부분은 photoemitted electron-energy distribution의 secondary electron을 나타낸다. 이 secondary 전자의  $h\nu$ 에 따른 변화

는 empty surface-state density에 관계된 structure를 갖게 된다. 이러한 변화가 아래부분에 나타내져 있다. x-ray 흡수 spectrum은 구조에 대한 정보를 갖는 여러 영역으로 나뉠 수 있게 된다. 구조에 대한 정보는 transition matrix element를 변화시키는 final-state scattering 효과에 의하여 생기게 된다. Threshold에서 약 50eV 이내의 signal이 이와 같은 정보를 갖게 되며 x-ray absorption near-edge structure라고 불리운다. 이 방법은 표면 원자간의 거리를 정확하게 재기 위한 tool로써 사용되고 있다. 이와 함께 자세한 analysis를 할 경우에 bonding에 대한 정보를 얻을 수 있게 된다. 다른 technique 중의 하나는 surface extended x-ray absorption fine structure라고 불리는 방법이다. SEXAFS는 near-edge영역 위에서 시작되며 이 방법을 이용하여 absorbate의 bonding site 혹은 bond length에 대한 정보를 얻을 수 있다.



(fig. 3-8) 오른쪽에 나타낸 숫자는 constant final state 에너지이며 SiO<sub>2</sub>에 대한 photoemitted secondary electron의 yield를 나타내는 그림이다.

Fig. 3-8은 silicon의 산화과정에 대한 absorption yield spectrum이다.

Chemical structural 변화에 따르는 signal의 변화는 매우 쉽게 구분될 수 있다.

## 제 4 절 X-선 형광

X-선 형광(fluorescence)은 물질이 X-선을 흡수하여 발광함으로써 생기는 빛으로 그 빛의 파장은 여기 방사선(X-선)의 파장보다 길고 발광현상은 방사선(X-선)을 흡수하고 있는 동안 계속된다.

Fluorescence는 Luminescence와 동의어로서 사용될 때가 많다. Luminescence(발광)는 외부의 영향에 의해 온도, 방사와 다른 빛을 발생하는 현상이다.

방사광 X-선은 광전흡수에 의하여 표적(시료)작용할 수 있고 표적이온의 부수적인 de-excitation은 그 이온들의 특성 X-선 스펙트럼을 생기게 한다. 이러한 경우에 그 과정을 X-선 fluorescence라 한다. 비록 이 특성 X-선 스펙트럼이 입사되는 X-선 범위에서 오는 산란광자선의 영향을 받지만 이러한 성분은 표적과 geometry의 적절한 선택으로 얻어지는 전체 광자 yield의 10~20% 이하로 유지될 수 있다.

사용되는 시료가 그 원소의 k-각 결합에너지 보다 큰 광자 에너지를 갖는 X-선에 의하여 조사되면 광전자 흡수는 특성 X-선의 방출을 유도하게 되며 이 과정도 X-선 fluorescence가 된다. X-선 fluorescence 분석에서 중요한 측정기기 문제들에 관한 여러가지 관련 사항들이 Goulding에 의해 토의되었다.

### 1. X-선 Fluorescent Elemental Analysis (XFA)

X-선 형광분석(XFA) 방법은 시료 내에 원소의 분포를 형상화 하는데는 물론이고 그 원소의 정량적 내용물을 정의하는데 세계적으로 사용되고 있다. 선 형

광분석과정에서 이온화는 원소의 원자에 안쪽 전자각(K-또는 L-shell)에서 일어난다. K-각과 L-각의 빈자리를 채우는 과정에서 불연속적인 에너지가 방출하게 되며 이 때 방출에너지는 오직 원소의 원자 번호 Z에만 의존한다. 여기서, 에너지 방출은 오제(auger) 전자의 방출 또는 특성 X-선의 양자 때문에 생기는 것이다. 양자에너지는 1keV를 상회한다.

X-선 fluorescence를 생기게 하기 위하여 방사광을 이용함으로써 XFA방법이 질적으로 크게 개선될 수 있게 되었다.

질적 개선의 경우는

- (1) 소각 발산과 연속 방사광 스펙트럼은 이용자로 하여금 초점에 맞추는 X-선 광학을 이용하여 매우 효율적이고 조율이 가능하여 단색여기를 인식할 수 있게 한다.
- (2) 자연적 방사광 편광은 측정시료상에서 여기 방사선의 산란으로 인해서 생기는 background를 적정하게 취해진 검출각에서  $10^1 \sim 10^2$  정도 감소 시킬 수 있는 가능성을 제공한다.
- (3) 고강도 방사광 빔은 많은 경우에 검출신호대 background비(S/B ratio)를 높혀 주면서 매우 얇은 시료를 사용할 수 있게 함은 물론 높은 공간 분해능을 가지고 국소적 분석을 수행할 수 있게 한다.

## 2. 실험 작업 검토

1980년대에는 X-선 형광에 의한 원소 분석개발에 관한 실험작업이 여러가지의 방사광선원을 이용하여 수행되어 왔다.

다양한 방법론적 SRXFA(Synchrotron Radiation x-ray Fluorescence Analysis) 연구로 부터 특정한 원소들의 검출한계를 찾아 낼 수 있게 되었다. 어떤 원소의 최소 검출농도(MDC) 및 최소 등록 분량(MRA)에 관한 많은 양의 실험 데이터가 주로 가벼운 원소(Silicate rock과 organic원소)로 구성된 얇은 ( $\sim \text{mg}/\text{cm}^2$ ) 시료

의 실험에서 얻어졌다.

무거운 원소(La이후 원소)의 X-선 형광 확인에 관한 연구는 경단색 방사광 빔에 의한 여기를 이용함으로써 흥미로운 실험과정을 거친다.

이제까지 SRXFA를 응용하는 실험작업들을 위하여 영구히 운영될 실험장소가 Novosibirsk, Hamburg, Tsukuba, Brookhaven 등의 수많은 방사광 이용센터에서 제공되어 왔다.

현재, VEPP-4(Novosibirsk)에서는 다음의 4가지 분야에서 연구가 진행되고 있다.

1. Geology : • Rock 시료, 광물과 광석, 표준개정  
• 백금 금속, 회토류 족 원소 분석  
• Intact시료의 이차원적 원소 mapping
2. Micro-analysis : 달시료, mono-mineral fractions 분석
3. Biology : • 건강, 불건강 tissue의 비교 분석  
• 살아있는 인체 기관 속에서 약물의 부분 추출, 수집 분석
4. Industry : 반도체 생산에서 물질의 순도 조절, 합금 중 admixture 분석, 순도 확인 등

### 3. SRXFA (Synchrotron Radiation x-ray Fluorescence Elemental Analysis)

방사광 X-선 형광분석 장치는 분석능력에 따라서 2개조로 구분할 수 있다.

- (1) 시료 중에 존재하는 원소의 작은 농도를 검출할 수 있는 장비
- (2) 시료 중에 존재하는 원소의 작은 절대 분량을 기록하는 장비

이러한 부류의 장비는 고공간 분해능을 갖는 주사장치를 포함한다.

해결되어야 할 문제 사안에 따라서, 여기 방법과 형광광자의 검출에 의하여 구분되는 여러가지 실험계획이 적용될 수 있다.

가. X-선 형광의 여기 구상

비교적 큰 무게의 시료 중 1~3개의 원소를 위한 최소 농도측정을 위해서 연구되는 원소의 K 혹은, L 흡수단 근처에너지를 갖는 단색방사광을 이용하는 것이 가장 바람직하다.

단색화(monochromatigation)는 검출영역에서 기저 방사선을 줄여 주지만 방사광의 빔 강도를 약화시킨다. 즉, 방사광 빔 강도의 약화는 단색화가 안전할수록 더욱 더 심하게 된다. 시료의 면적과 무게가 갑작스럽게 줄어드는 국부적 원소 분석에서 시료와 상호 작용하는 방사광 광자의 전체량은 한정된다.

이러한 조건하에서는 wide-band 스펙트럼에 의한 여기가 더 바람직 할지도 모른다. 30keV영역에서는 흡수 필터에 병합된 초점거울의 도움으로 1차 방사광 빔으로부터 wide-band 스펙트럼이 얻어진다. Table 3-1에는 Si(Li) SSD에 의해서 검출된 결과가 정리되어 있으며 polymer-based 표준시료에서 K-계열 원소들이 분석된 것이다.

〈Table 3-2〉 Comparison of MDCs and AWAs of an Element for Different Methods of Excitation of XRF<sup>(1)</sup>

| Excitation mode         | MDC in relative concentration |        |        | Irradiation area                 | AWA in absolute amount Zn |
|-------------------------|-------------------------------|--------|--------|----------------------------------|---------------------------|
|                         | Zn                            | Mn     | Cn     |                                  |                           |
| Continuum               | 550ppb                        | 410ppb | 440ppb | $3.5 \times 10^{-3} \text{mm}^2$ | 0.13pg                    |
| Continuum with absorber | 170ppb                        | 240ppb | 750ppb | $2.8 \times 10^{-2} \text{mm}^2$ | 0.34pg                    |
| Monochromatic           | 60ppb                         | 70ppb  | 200ppb | 1.1mm <sup>2</sup>               | 4.7pg                     |
| Conventional EDXRF      | 1.9ppm                        | 2.0ppm | 8.8ppm | 3 cm <sup>2</sup>                | 40ng                      |

SRXFA에 의하면,

긍정적으로 Si(Li) 및 HPGe 검출기들을 위한 원소의 검출농도는 50mg/cm<sup>3</sup>의

(1) V. Baryshev et al., Handbook on Synchrotron Radiation Vol. 3, Chapter 16, "X-Ray Fluorescent Elemental Analysis," Elsevier Science Publishers B.V., 1991.

순 polystyrene 중에 Ru, Rh 및 Pd의 미량 분석량이 9ppb이며 rock 시료와 용액 중에 Rb-Zr 및 Ru-Ag 미량 분석량은 30ppb이다. HASYLAB, BNL, KEK, VEPP-4등의 SR연구센터에서의 SRXFA 기술의 개발 및 운용에서 다음과 같은 유리한 사항들이 입증되었다. 즉,

1. 고 감응도
2. 적은 체적 및 무게의 시료
3. 다중원소 분석에 응용 (Na부터 주기율표의 마지막 원소까지)
4. 비파괴 측정
5. 결과 획득의 신속성
6. 원소의 표면 및 체적 분포 측정의 가능성
7. 응용 목적(지질학, 산업용, 의학, 범죄검색 등의)에 대한 자동조정의 원소 분석 가능

#### 나. X-선 형광 스펙트럼 검출 구상

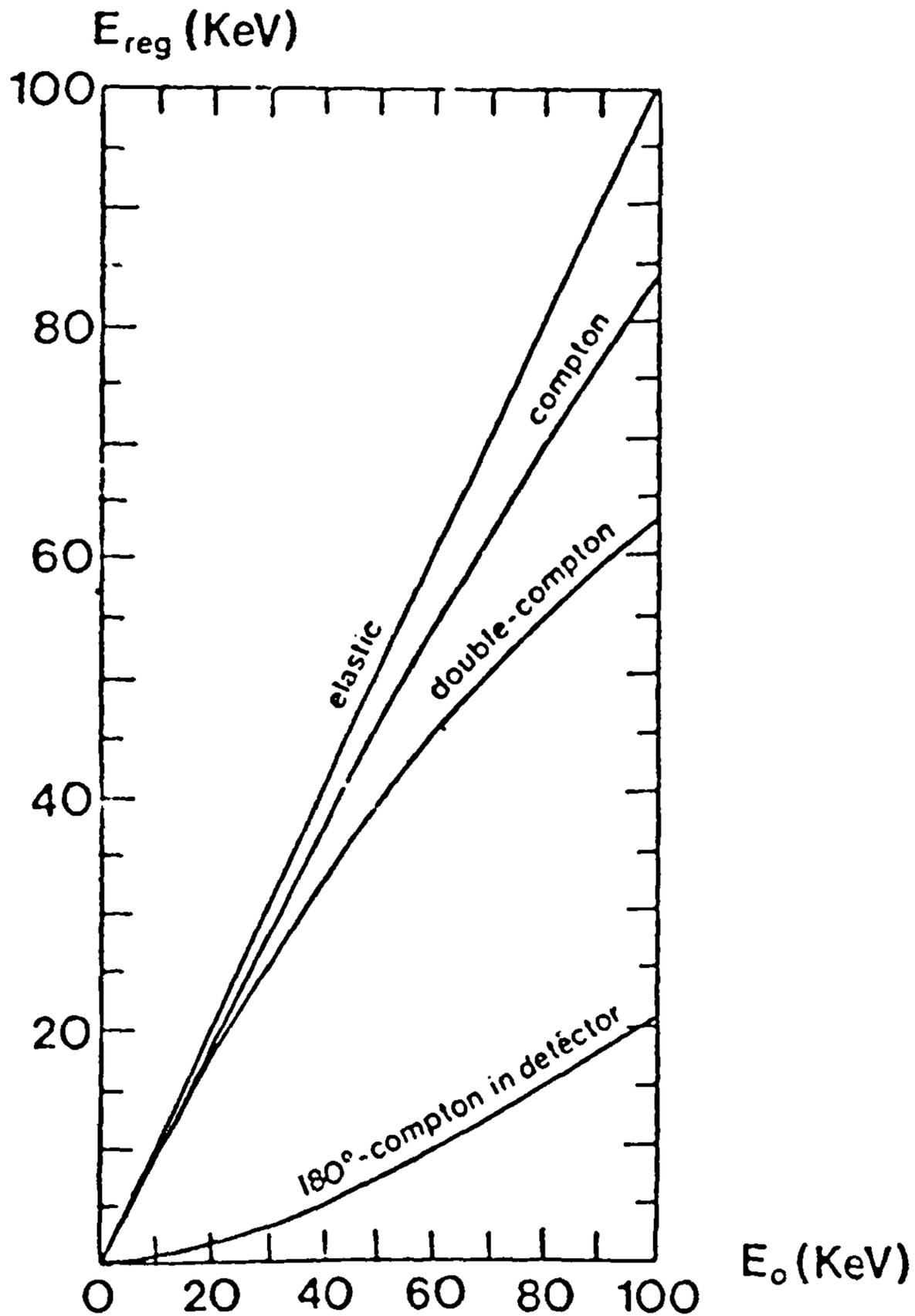
X-선 형광분석 기술에서 X-선 특성 방사선 검출을 위한 장치는 2가지 방향에서 개발되었는데 그것은 분산 및 무분산 검출 수단의 이용이다. 이러한 검출장치는 SR 빔라인, Box, Crystal monochromator, 스텝모터, 분광기 driver, 튜브, 편광기, 챔버, SR빔의 absorber, 집속기, SSD, 밴딩테블, Pyrographite filter, Crystal 분석기, counter등, 이러한 장비들로 구성되어 있는 X-선 특성 방사선 검출장치는 바윗돌이나 표준시료(혹은 기준시료)중에 Ru, Rh, Pd 및 Ag 같은 원소를 XRFA에 응용되고 있다. 이 경우에 검출한계는  $10^3$ 초 조사(exposure)에 대하여 약 1ppb이다. Dispersion filter를 사용하면 방사선 시료의 XRF 분석도 가능하게 된다. 왜냐하면 SSD에서 붕괴 생성물의 직접투과를 없애주기 때문이다.

다. Energy-dispersive SRXFA에서의 background의 유용한 signal 및  
basic 성분

전통적인 여기 선원(X-선 튜브, 방사선 동위원소)를 사용하는 에너지 분산 X-선 형광분석은 지난 15년간 이상 광범위하게 연구 개발되어 왔다. 이 분야에서 주요 실적들은 SSDs의 개발에 진척을 이룩한 것이다. 특히, 에너지 분해능과 계수율과 같은 SSD parameters의 획기적인 개선이다. 방사광 빔으로부터 오는 편광단색 여기 방사선의 응용은 에너지-분산 XFA scheme 자체의 특성을 본질적으로 개선하는 것을 가능하게 만들고 있다. 이것의 원인은 탄성 및 Compton 산란강도와 SSD에 대한 기본 background성분이 그 검출기에서 굉장히 많이 없어져 버리기 때문인 것이다. 대부분의 SRXFA 장치는 SSDs로 구성되어 있기 때문에 XFA 기술을 활용하는데 있어서 원소의 검출 문턱을 제한하는 background 인수들은 면밀히 고려하는 것이 유용한 듯 싶다.

방사광을 이용한 XFA에서 background의 기본성분은 여기 방사선이 어떤 시료와의 상호작용은 상당히 복잡한 성질을 갖는데, 이것은 몇 개의 다중성분이 시료가 방출하는 스펙트럼에 합해지기 때문이다. 경원소 matrix로 된 시료들의 단색방사선에 의한 가장 혼한 여기의 경우에, background는 다음의 form을 갖는다.

- (1) 여기 방사선의 탄성 산란에 의한 peak
- (2) 여기 방사선의 Compton 산란에 의한 peak
- (3) 검출기 형광 방출의 escape peak
- (4) 약 180°에서 검출기 내에서 compton 산란된 검출양자의 escape peak



(fig. 3-9) Limitations on the SSD detection region, due to various background factors.

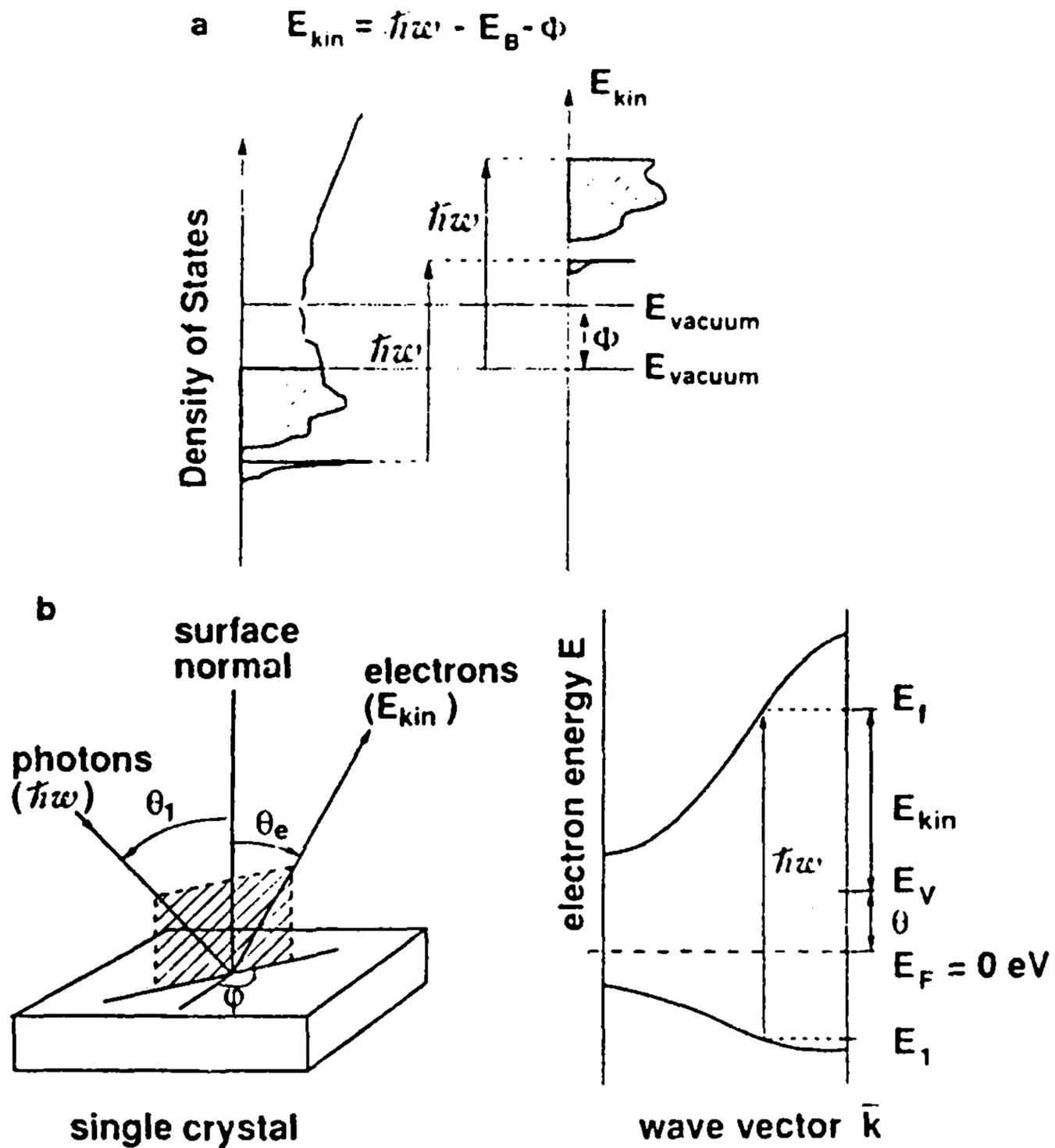
Fig. 3-9는 SSD에 대한 검출 영역을 도시하고 있다. background의 가장 낮은 스펙트럼 밀도는 상이한 여기 에너지 영역에서 얻어진다.

## 2. Photoemission

광전자 분광법은 빛을 흡수함으로써 인하여 방출되는 전자의 운동에너지를 측정함으로써 물질의 전자구조에 대한 정보를 얻는 것을 목표로 한다. 광전자 분광법

은 현대 물리학에 있어서 그 위치를 확고히 하고 있는 매우 중요한 tool이다. 자세한 정보는 KRISS-93-005-IR 보고서에 잘 나타나져 있으며 간단하게 소개를 하기로 하겠다.

광전자 분광법의 모형은 three-step model로 나타내어 진다. Optical transition, transport to the surface, 표면으로부터 전자의 방출, 이렇게 세 과정을 거쳐서 일어나게 된다.



<fig. 3-10> 전자구조 중 occupied DOS와 photoemitted electron distribution의 관계

Fig. 3-10은 photoemission 과정의 모습을 나타내고 있다. 밖으로 나오는 전자의 운동에너지  $E_{kin}$ 은 다음과 같이 나타내어 진다.

$$E_{kin} = h\nu - E_b - \phi$$

여기서  $h\nu$ 는 광자의 에너지,  $E_b$ 는 전자의 binding energy,  $\phi$ 는 work function을 나타낸다. 광자의 에너지를 변화시킬 수 있는 방사광에서는 세가지의 data collection mode가 있다.

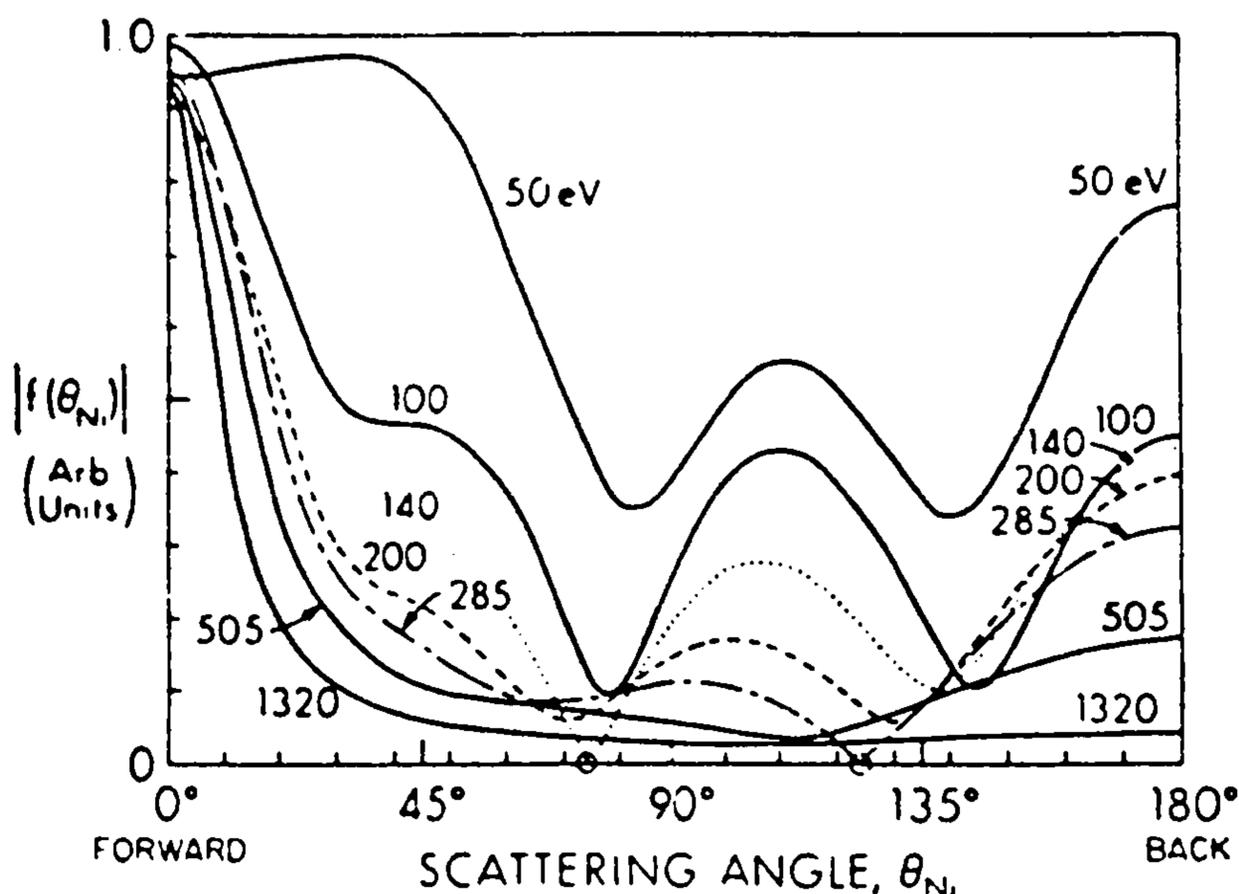
이 세가지는 energy distribution curve(EDC), constant initial state (CIS), Constant final state(CFS)로 나뉜다.

광전자 분광법에서 중요한 factor의 하나는 광자의 에너지에 따른 미분단면적의 변화이다. 이와 더불어 resonant process를 이용하면 다른 정보를 얻을 수 있게된다. 에너지 분포와 더불어 각도 분포를 측정할 경우에 결정에 대한 정확한 전자구조를 얻을 수 있게된다. 이것에 대한 발달과 더불어 monochromator에서 사용되는 crystal에 대한 연구가 진전되어 왔다. 각 분해 광전자 분광법은 ordered surface를 지나는 전자의 운동량은 표면에 평행한 방향에서 보존되는 사실에 근거를 두고 있다. 표면에 평행한 방향뿐만 아니라 표면에 수직인 방향에 대한 정보도 work function이나 crystal inner potential을 이용할 경우 알 수 있게되며 이 값들은 bulk band에 대한 정확한 정보를 준다.

### 3. Photoelectron diffraction

Photoelectron diffraction은 단결정에서 원자에서 나오는 core photoelectron을 이용함으로써 표면에 3~5층 정도에 있는 원자의 종류, 위치, 그리고 결합 정도를 동시에 측정할 수 있는 방법이다. 직접적으로 방출되는 photoelectron은 여러 형태의 산란파의 간섭을 나타내 보이고 있는데 계산을 통하여 이런것들을 제거해야 한다. 각 분해능 광전자 분광법에서와 마찬가지로 전자를 측정하는 각도는

azimuthal an angle  $\phi$ 와 polar angle  $\theta$ 가 있게된다. Photoelectron diffraction에서 측정된 값의 변화는 매우 크다. 즉 어느 각도에서 intensity가 maximum이 될 때 이 값을  $I_{max}$ 라고 하고 최소가 될 때의 값을  $I_{min}$ 이라고 한다면,  $(I_{max}-I_{min})/I_{max}$ 의 값이 0.5~0.7정도이다. Photoelectron diffraction에서 중요한 factor의 하나는 relevant elastic scattering factor의 energy 의존도이다.



(fig. 3-11) Ni의 plane-wave scattering factor amplitude (scattering angle과 photoelectron의 kinetic energy에 대한 값)

Fig. 3-11은 Ni 원자의 경우에 대하여 Scattering angle  $\theta_{Ni}$ 와 전자의 에너지 값에 대한 plane wave scattering amplitude의 변화를 나타낸 그림이다. 저에너지 전자의 경우 거의 모든 각도로 큰 scattering이 일어남을 알 수 있다. 그러나 고에너지의 경우 (500eV이상) scattering은 앞쪽으로만 크게 일어남을 알 수 있다. 이러한 고에너지에서 forward scattering은 일찌기부터 표면 원자구조를 연구하는데 사용되어 왔으며 이러한 효과를 search light effect라고 부른다. 다른 중요한

점의 하나는 short-range order를 원자별로 구분할 수 있다는 점이다. 이 short-range order의 크기는 약  $20\text{\AA}$  정도이며 각각의 원자는 그 주위환경에 따르는 다른 diffraction curve를 주게 된다.

이 밖에 방사광을 이용한 reflection, luminescence를 이용하거나 grazing incidence x-ray diffraction이나 x-ray standing wave measurement하여 물질의 특성을 연구하는 여러가지 방법이 있게 된다.

## 제 4 장 연구개발 계획

### 제 1 절 연구개발의 필요성

방사광(Synchrotron Radiation:SR)은 광속에 가까운 속도로 움직이는 전자에서 방출된다. 이러한 방사광은 광속밀도가 엄청나게 높고 고도의 방향성을 가지고 있어 각종 연구에 적합하다. 방사광은 지금까지 쓰여온 광원에는 없는 파장영역을 포함할 수 있고 그 외의 여러가지 좋은 특징을 가지고 있기 때문에 최근에는 레이저 다음으로 [꿈의 광원]이라고 부르게 되었다. 이러한 방사광을 이용한 연구분야로 기초과학은 물론 응용과학, 의학 및 산업계에 이르기까지 폭넓게 보급되었다. 세계적으로 많은 방사광원이 가동되고 있고 국내에서는 포항공대 방사광가속기연구소에서 제3세대 방사광가속기인 Pohang Light Source(PLS)를 건설 추진중에 있다. 계획상 PLS에는 36개의 beam line이 설치될 예정인데 현재는 2~3개의 beam line을 건설 추진중에 있다. 선진 각국 등에서는 별도의 소형방사광 가속기를 보유하고 연구소 자체의 연구 필요성에 따라 다른 방사광가속기연구소에 전용 beam line을 건설하여 실험을 수행하고 있다.

그 예로써 미국의 NIST는 0.25GeV의 SURF II인 방사광 가속기를 운영하고 BNL에 3개의 전용 beam line을 보유하여 기초과학연구에 도입하였으며, 독일의 PTB도 BESSY라는 방사광가속기를 보유하여 3개의 metrology 전용 beam line과 그 외에 기초과학 및 첨단소재 연구에 이용하고 있다. 더 나아가 외국의 연구소는 물론 기업 및 각 대학에서도 자체 전용 beam line을 건설하여 SR을 이용한 응용연구에 박차를 가하고 있다.

당 연구원에서는 PLS/KRISS 빔라인 설치·운영 사전조사연구(KRISS-93-005-IR)를 수행하였고 빔라인 설치에 대한 준비를 지속적으로 하고 있으며 당 연구원의 연구목표인 국가표준확립, 기초과학연구 및 신소재 특성평가 등의 연구

에 PLS이용의 필요성 증가와 포항 가속기연구소로서도 국내 대학 및 다른 연구기관의 별도 beam line 증설의 요구에 따라 당 연구원의 전용 beam line 설치·운용이 절실히 필요한 단계에 이르렀다.

## 제 2 절 연구개발 목표

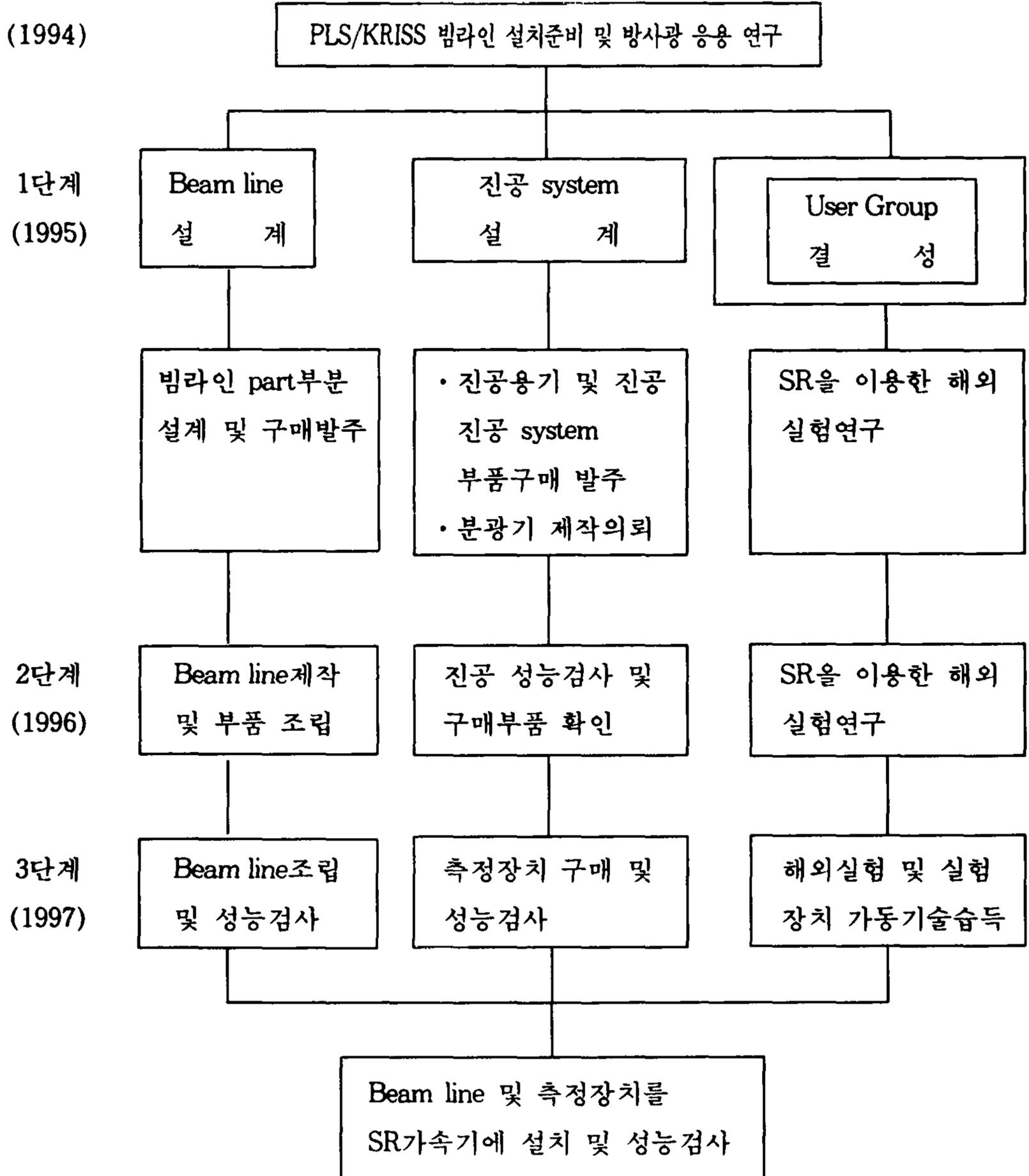
### 1. 연구개발의 최종목표

- 한국표준과학연구원인 전용 빔라인 설치·운용
- SR을 이용한 VUV 및 soft x-ray 에너지 영역에서의 국가표준확립·유지
- SR을 이용한 신소재 특성평가 및 기초과학연구 수행

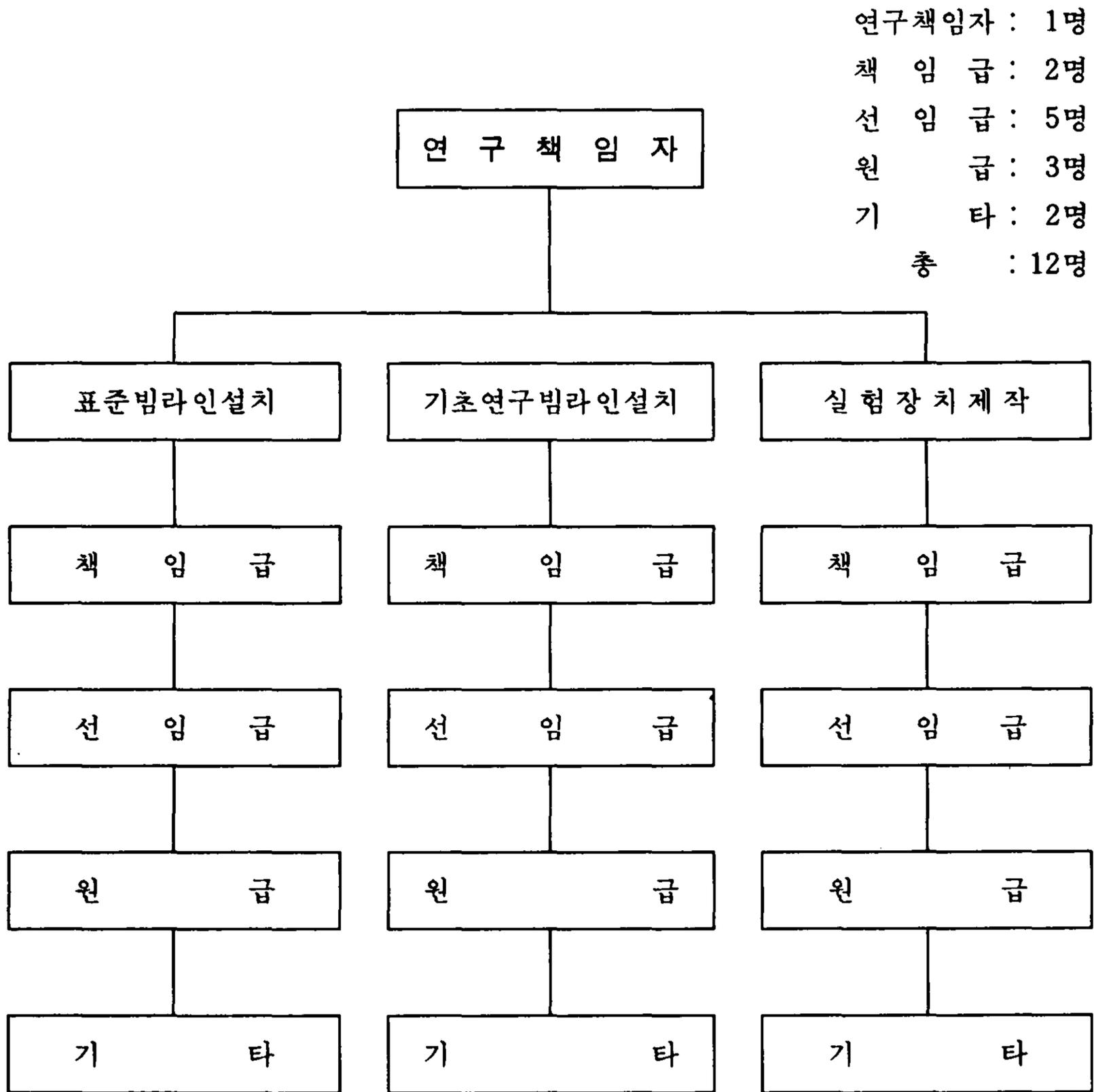
### 2. 연차별 연구개발 목표 및 내용

| 구 분            | 연구개발목표   | 연구개발내용 및 범위  | 추정연구비 |
|----------------|--|--|-------|
| 1차년도<br>(1995) | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 빔라인 사양결정</li> <li>· 빔라인 part부품 설계</li> <li>· 진공 system 설계</li> <li>· 측정장치 제작의뢰</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 빔라인 사양결정 및 설계</li> <li>· 빔라인 part부품 및 진공시스템 부품 구매발주</li> <li>· 분광기 사양결정 및 제작의뢰</li> <li>· 빔라인의 부분 진단장치제작</li> </ul> | 8억    |
| 2차년도<br>(1996) | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 빔라인 조립 및 부품 조립</li> <li>· 진공장치 제작 및 성능 검사</li> </ul>                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 빔라인 조립 및 실험진공 용기, 에너지 분석장치 도입</li> <li>· 진공장치 제작 및 성능 검사</li> </ul>   | 8억    |
| 3차년도<br>(1997) | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 빔라인 및 실험장치 설치와 성능검사</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>· SR 가속기에 연결 진동 및 성능검사</li> <li>· 측정장치 설치 및 성능검사</li> </ul>   | 9억    |

### 제 3 절 단계별 연구 추진계획



제 4 절 연구원 편성표



연구책임자 : 1명  
 책임급 : 2명  
 선임급 : 5명  
 원급 : 3명  
 기타 : 2명  
 총 : 12명

\* 외부위촉연구원

제 5 절 주요 연구기자재

| 품 명                                   | 규 격           | 수 량 | 용 도                | 보유<br>현황 | 확 보 및<br>활용방안 |
|---------------------------------------|---------------|-----|--------------------|----------|---------------|
| • ERG분광기                              | 30~<br>1200eV | 1   | 피장선택               | 무        | 1~<br>2차년도    |
| • Mo Mirror(진공 chamber포함)             |               | 1   | heat<br>load       | 무        | "             |
| • Refocusing Mirror<br>(진공 chamber포함) |               | 1   | toroidal<br>mirror | 무        | "             |
| • Hemispherical Energy Analyzer       | 30cm          | 1   |                    | 무        |               |
| • ion pump                            | 300 ℓ /s      | 4   | 진공펌프               | 무        | 2차년도          |
| • ion pump                            | 500 ℓ /s      | 3   | 진공배기               | 무        | "             |
| • gate valve                          | 4 ℓ /s        | 5   |                    | 무        | "             |
| • gauge controller                    |               | 2   |                    | 무        | "             |
| • ion pump controller                 |               | 5   |                    | 무        | "             |
| • turbo set                           |               | 2   |                    | 무        | "             |
| • flange + accessory                  |               | 1   |                    | 무        | "             |
| • 진공 system chamber                   |               | 1   |                    | 무        | 2~<br>3차년도    |
| • angle - resolved analyzer           |               | 1   |                    | 무        | "             |
| • electron gun                        |               | 1   |                    | 무        | "             |
| • ion gun                             |               | 1   |                    | 무        | "             |
| • sample manipulator                  |               | 1   |                    | 무        | "             |
| • LEED                                |               | 1   |                    | 무        | "             |
| • RGA                                 |               | 1   |                    | 무        | "             |
| • Computer and data system            |               | 1   |                    | 무        | "             |

### 제 6 절 연구 추진계획

| 연구 내용         | 추진 일정 |       |       | 비고 |
|---------------|-------|-------|-------|----|
|               | '95년  | '96년  | '97년  |    |
| · 빔라인 설계      | _____ |       |       |    |
| · 빔라인 part 설계 | _____ |       |       |    |
| · 빔라인 part 제작 |       | _____ |       |    |
| · 분광기         |       |       |       |    |
| Review        | _____ |       |       |    |
| 구 매           |       | _____ |       |    |
| 정 착           |       |       | _____ |    |
| · 측정시스템       |       |       |       |    |
| Review        | _____ |       |       |    |
| 구 매           | _____ | _____ |       |    |
| 정 착           |       |       | _____ |    |
| · 성능검사        |       | _____ | _____ |    |

제 7 절 추정 연구비 내역

(단위 : 천원)

| 비목<br>번호 | 구분<br>비목                | 1차년도 (1994) |            | 2차년도 (1995) |            | 3차년도 (1996) |            |
|----------|-------------------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
|          |                         | 금액          | 구성비<br>(%) | 금액          | 구성비<br>(%) | 금액          | 구성비<br>(%) |
| 1        | 인 건 비<br>○내 부<br>○외 부   | 160,000     | 20.0       | 160,000     | 20.0       | 160,000     | 17.8       |
| 2        | 여 비<br>○국 내<br>○국 외     | 5,000       | 0.63       | 5,000       | 0.63       | 5,000       | 0.56       |
| 3        | 해외훈련 및 전문가초청            | 20,000      | 2.5        | 20,000      | 2.5        | 20,000      | 2.2        |
| 4        | 기 술 도 입                 | 15,000      | 1.8        | 15,000      | 1.8        | 15,000      | 1.7        |
| 5        | 연구기자재구입 및 임차료<br>○구 입 비 | 550,000     | 68.8       | 550,000     | 68.8       | 650,000     | 72.2       |
| 6        | 해외연구소 설치운영              | —           | —          | —           | —          | —           | —          |
| 7        | 시 설 비                   | —           | —          | —           | —          | —           | —          |
| 8        | 유 인 물 비                 | 5,000       | 0.63       | 5,000       | 0.63       | 5,000       | 0.56       |
| 9        | 시 약 재 료 비               | 10,000      | 1.25       | 10,000      | 1.25       | 10,000      | 1.11       |
| 10       | 전 산 처 리                 | —           | —          | —           | —          | —           | —          |
| 11       | 기술정보활동비                 | 5,000       | 0.64       | 5,000       | 0.64       | 5,000       | 0.56       |
| 12       | 개 발 보 존 비               | —           | —          | —           | —          | —           | —          |
| 13       | 제 잡 비                   | 10,000      | 1.25       | 10,000      | 1.25       | 10,000      | 1.11       |
| 14       | 위탁연구개발비                 | —           | —          | —           | —          | —           | —          |
| 15       | 시 제품 제작비                | 20,000      | 2.5        | 20,000      | 2.5        | 20,000      | 2.2        |
| 총 액      |                         | 800,000     | 100        | 800,000     | 100        | 900,000     | 100        |

## 제 8 절 추진방법 및 전략

포항 가속기연구소에서는 최종 빔라인을 36 sets 설치할 예정으로 있다.

당 연구원에서 2~3 sets의 전용 빔라인을 보유하여 자외선에서 x-선까지의 방사광선원의 국가표준확립 및 KRISS 자체의 기초 및 첨단과학 연구수행에 이용할 계획으로 집중적인 연구활동이 요구한다.

따라서 본 연구를 수행함에 있어서 추진방법은 다음과 같다.

- 당 연구원의 적절한 beam line의 필요한 사양 및 측정장치 선정을 위한 자체 사전조사 연구 수행
- 당 연구원의 관련 연구실과의 긴밀한 협조 및 방사광 사용자 그룹을 활성화한다. 특히, 광학실과 표준관련 빔라인 및 기초연구 관련 라인에 건설에 따른 면밀한 사전연구 수행.
- VUV 및 soft x-ray 에너지 영역의 국가표준 확립 및 신소재 특성평가와 기초과학 연구수행에 적합한 사양 결정
- 연구 수행중 beam line use의 해외연구 실험을 통한 beam line 건설후에 즉시 beam line user를 최대한으로 확보한다.
- 미국의 BNL, 일본의 KEK 및 중국의 IHEP 등의 beam line과 비교 검토 및 상호협력하여 당 연구원의 연구수행에 적절한 형태의 beam line 건설을 유도한다.
- 포항 가속기연구소에서 건설추진중인 beam line의 부품개발 및 측정장치(분광기등) 제작에 관한 상호협력으로 관련부품의 국산화 및 동일한 업체선정 및 설계제작의 국내 기술축적을 도모하고 국내 기술축적으로 인한 차후 제작될 beam line 증설의 기반을 마련한다.

## 제 5 장 결 론

현재 세계적으로 기초 및 첨단과학연구소를 위해 방사광을 이용한 연구가 급증하고 있다. 이에 따라서 국내에서도 '95년말 완공목표로 포항 방사광가속기연구소에서 2.0GeV 방사광 시설을 건설중에 있다.

약 1400억원 규모의 큰 예산을 들여 건설중인 방사광 시설에 36sets의 빔라인을 만들 예정이지만, 현재 설치 추진중인 빔라인은 포항 가속기연구소가 2sets 포함 산업기술연구소가 1set 정도로 되어 있다. 이에 당 연구원에서 SR에 의한 x-선 조사선량의 국가표준 확립·유지와 radiometric 응용 및 기초연구, 신소재 특성평가 등을 수행할 필요성을 인식하였다. 당 연구원 SR 이용에 필요한 전용 빔라인을 3~5개년에 걸쳐 설치하여 당 연구원의 방사광을 이용한 user 그룹의 연구 활성화와 첨단연구에 많은 도움이 될 것으로 사료된다.

방사광 응용 연구에 있어서 일본 분자과학연구소(IMS)와 미국 위스콘신 대학 SRC에서 광전자 분광법 연구를 수행하여 방사광 이용기술 확립에 크게 기여한 것으로 생각된다.

당 연구원에서 수행해야할 VUV 영역에서의 국가표준확립을 위한 user그룹의 확대를 방사광가속기 완공후 당 연구원의 전용 빔라인의 필요성이 더욱 절실히 요구된다. 이에 PLS/KRISS 전용 빔라인 건설을 위한 지속적인 기반 확립과 방사광 이용 연구를 통하여 빔라인 설치에 만전을 기하도록 하여야 되겠다.

## 참 고 문 헌

1. Edward A. S. and "Steve M. H," Handbook on Synchrotron Radiation Vol I ~ III (North-Holland Publishing Company, Amsterdam, Amsterdam, 1983).
2. Catlow C. R. A and G. N. Greaves "Applications of Synchrotron Radiation" (Thomson Litho Ltd, East Kilbride, Scotland, 1990)
3. 황선태, 이광필, 황찬용, 이경주 "PLS/KRISS 빔라인 설치, 운용 사전조사 연구" KRISS-93-005-IR (1993)
4. 關一彦, 現代化學, p.55~61. (1992).
5. Otto C. Kopp et al., "Synchrotron X-ray fluorescence analysis of zoned carbonate gangue in Mississippi Valley-type deposits," Chemical Geology 81. 337~347(1990).
6. Fang-Qiong Lu et al., "Synchrotron X-ray fluorescence analysis of rock-forming minerals", Chemical Geology 75. 123~143(1989)
7. HayaKawa.S and Gohshi.Y et al., "X-ray microanalysis with energy tunable synchrotron X-rays", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B49, 555-560(1990).
8. BockmanR.S. et al., "Distribution of trace levels of therapeutic gallium in bone as mapped by synchrotron X-ray microscopy", Proc. Natl. Acad, Sci, USA 87. 4149-4153(1990).
9. BachrachR.Z. et al., "Synchrotron Radiation Research" Vol 1 plenum press, New York(1992).
10. John H.Dunsmuir "Industrial Use of the NSLS," Synchrotron Radiation News Vol. 6, No.3(1993).