

# Bochum 대학교의 구조실험연구센터

## Structural Testing Laboratory in Ruhr-University Bochum, Germany



| 강 보 순 |  
배재대학교  
건설환경철도공학과  
교수

### 1. 머리말

독일 서부 노르트라인-베스트팔렌 주에 속한 보훔(Bochum)은 어디든 땅만 파면 석탄이 나올 정도로 매장량이 풍부한 루르(Ruhr) 탄전(炭田)의 중심 도시다. 18세기 중반부터 석탄과 철강산업이 발전했고 50~60년대에는 '라인강의 기적'으로 부리는 독일 경제 재건의 견인차였다. 당시 면적 145km<sup>2</sup>의 작은 도시에 탄광이 30여개나 됐다. 도시 전체의 인구의 25%를 차지하는 성인남자 9만 여명이

탄광·철강 산업에 종사했다. 하지만 영원할 것 같았던 석탄 산업이 50년대 말 석유 등장 후 위기를 맞자 보훔시는 발 빠르게 움직였다. 진폐증에 걸린 것처럼 흐릿해져가는 도시를 다시 살리기 위한 긴급 처방이 필요했다. 목표는 광산을 폐쇄하고 첨단산업과 대학을 유치하는 것이었다. 당시 탄광 대형화를 꾀하던 다른 도시들과는 대조적인 움직임이었다. 당시 노르트라인-베스트팔렌 주에 주지사였던 요하네스 라우(전 독일대통령)는 1965년 산업이 발달한 루르지역에 탄광·철강 산업의 임직원의 자녀들을 위해 거대한 최초의 종합대학인 보훔대



Ruhr-Universität Bochum

그림 1. 보훔(Bochum)대학 전경

Bereich Konstruktionsteilprüfung

25 Jahre



Structural Testing Laboratory

그림 2. 구조실험연구센터의 내부전경 및 다양한 실험장면

학을 설립하면서 토목공학과와의 경우 기존대학의 22명의 유명교수들을 스카우트하고 첨단 연구시설을 전폭지원 하였다. 그 당시 도시 안에 있는 독일의 기존의 전통 공과대학들은 특성상 한곳에 큰 구조실험동을 갖는 것이 여의치 못했으나 보훔시는 대규모 탄광터 위에 푸른 숲과 녹지를 조성하여 푸른 첨단시로 탈바꿈하면서 유럽에서 가장 크고 첨단시설을 갖춘 구조실험동의 건설을 가능케 하였다.

## 2. 구조실험연구센터

### 2.1 설치목적 및 역할

2007년은 보훔대학교 구조실험연구센터가 25주년을 맞는 의미 있는 해였다. 2007년 6월 19일에는 지금까지의 연구결과 및 지금하고 있는 주요연구내용들이 “25주년 구조실험적 연구”라는 주제로 특별 기념 세미나에서 발표되었다. 대형화된 첨단 구조실험연구센터의 필요성은 벌써 1965년에 보훔대학 설립 때부터 강조해 왔다. 실험장비 설치하는 벌써 1982년에 시작되었고 그 당시 산업의 중심지였던 루루 지역에 독일이 꿈꾸던 대형화되고 첨단시설이 갖춰진 구조실험연구센터가 개장되면서 수많은 연구프로젝트가 성공적으로 수행되었고 산업체이용으로 현장에서 발생하는 다양한 건설시설물의 문제를 다루어 해결에 이 구조실험센터가 큰 역할이 되었다. 뿐만 아니라 독일연구재단(DFG)과 산·학·연 그리고 노르트라인-베스트팔렌주

의 건설국의 대형과제들을 25년이 지나 지금까지 수행하여 건설현장의 새로운 기술발전과 시방서를 정립하는데 많은 도움을 주고 그 결과로 수많은 가치가 있는 연구보고서가 나오고 있다.

보훔대학교 구조실험연구센터는 모든 건설구조·재료 분야의 학과 및 연구소가 이용한다. 특히 초기단계에서 재정적인 및 인력적인 자원의 통합을 통해 구조공학에서 미래지향적인 실험적, 학문적 연구와 실무지향적인 첨단교육이 대학의 구조실험연구센터에 의해 가능하게 되었다.

건설현장에서 실무적으로 가장 가깝게 재하 되는 정적 및 동적하중에 대한 구조물의 신뢰성과 안전성을 위한 실험적인 연구는 종종 대부분 소성상태의 큰 변위영역을 움직이는 큰 하중이 가해지므로 풀 스케일에 가까운 큰 규모 크기와 중량을 갖는 구조물 내지는 부재의 실험시설을 요구하게 된다. 이와 같은 실험을 위해 요구되는 하중용량을 키우고 끊임없이 변화하는 다양한 실험과제에 대한 유연성을 확보하며 이에 부합하는 실험분야의 계획과 설계 내지는 다양한 실험장비가 제공되도록 이 구조실험연구센터는 끊임없이 노력하여 현실화 시켰다. 동시에 표준화뿐만 아니라 비표준화된 실험방법으로도 다양한 구조·재료실험 위한 가능성도 만들어 냈다.

일반적으로 구조연구소들은 구조실험분야에서 연구능력을 갖추고 있어 구조물·건설재료에서 실험적 연구를 할 경우 다양한 가능성도 제공한다. 보훔대학교 구조실험연구센터의 실험시설도 연구에서, 품질관리, 품질인증 및 품질검사 시 유사한 실험으로부터 문제해결에 대한 도움을 얻기 위하여 독일에서 공인기관으로서 산·학·관의 과제로 연결되어 더욱 진화할 것이다.

### 2.2 구조실험센터의 주요 실험연구분야

- 토목공학 및 역학분야에서의 구조적 안정성 향상
- 실험적 및 수치 해석적 절차를 이용한 새로운 구조적 및 재료적 방법의 개발 및 공인
- 산·관의 대형을 위한 구조적 방법의 인증실험
- 구조물 및 부재의 품질검증연구
- 실험방법에 컴퓨터를 이용한 도움으로 새로운 실험방법 개발

이외에도 시대적 요구에 따른 다양한 실험연구 분야를 창출해 내고 있다.

### 2.3 실험 주요장비

컴퓨터로 제어할 수 있는 실험방법의 도입과 다양한 측정방법을 통해 지금도 실험방법을 발전시키고 있다. 구조실험동의 면적은 2500m<sup>2</sup>로 실험 주요장비는 여러 개의 고정된 만능재하시험기, 액추에이터 그리고 이동형 액추에이터를 실험방법 및 크기에 따라 다양하게 선택할 수 있다.

#### 2.3.1 다양한기능,크기및재하능력의실험장비및액추에이터

먼저 아래와 같은 고정식 만능재하실험기 및 고정식 액추에이터들을 갖추고 있다<그림 3, 표 1, 표2>.

- 20.000kN Testing Machine
- 5.000kN Testing Machine
- 1000kN Testing Machine
- 400kN Testing Machine
- 250kN Testing Machine
- 100kN Testing Machine

위에 나타난 것 중에 대표적인 2000ton( 20,000 kN) 액추에이터는 유럽에서 가장 큰 액추에이터로 설치당시 화제가 많이 되었다. 보훔대학 뿐만 아니라 제작사 Schenk사도 이 액추에이터의 설치를 대단히 자랑스럽게 생각하였다. 이 액추에이터로 위사진에서와 같이 높이 8m의 합성기둥의 정적 내하력 실험뿐만 아니라 동적피로실험같은 다양한 현장크기의 대형 구조물의 실험을 현실화 시킬 수 있다.

그 외에도 이동식 액추에이터들도 아래와 같이 갖추고 있다.<표 2>

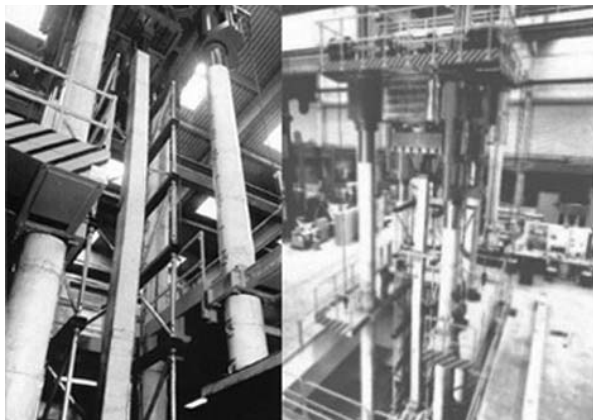


그림 3. 2000t 액추에이터의 실물기둥의 압축실험장면

표 1. 2000t 액추에이터의 기술사항

기술사항		
Maximal Force	Compression	20MN
	Tension	20MN
Distance between the Compression Platens	Maximum	10,000mm
	Minimum	500mm
Size of Compression Platens		2,500x2,500mm <sup>2</sup>
Size of Tension Platens		1,500x1,500mm <sup>2</sup>
Compression Platens		Both with Lockable Spherical Bearing
Clear Distance between the columns		2,130x2,000mm <sup>2</sup>
Maximal Stroke of Actuator		500mm
Pulsating Load for Compression Test		0-20MN
Pulsating Load for Tension Test		0-18MN
Alternating Tension/Compression Load		±8MN
Servo Valve Rated Flow		1,000l/min
control Unit		Instron Labtronic 8,800

표 2. 다양한 액추에이터의 기술사항

기술사항				
No. & Type of Actuator	Maximal Force		Max. Stroke of Actuator	Servo Valve Rated Flow
	Static	Dynamic		
1x Servohydraulic	± 2,500 kN	± 2,000 kN	400 mm	630 l/min
3x Servohydraulic	± 1,000 kN	± 800 kN	250 mm	250 l/min
1x Servohydraulic	± 630 kN	-	250 mm	250 l/min
2x Servohydraulic	± 100 kN	± 80 kN	100 mm	125 l/min

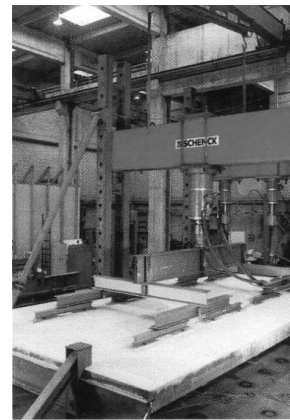


그림 4. Strong floor에서 슬래브의 실험 장면

2.3.2 재하바닥판(10x30m<sup>2</sup>)<그림5, 표3>

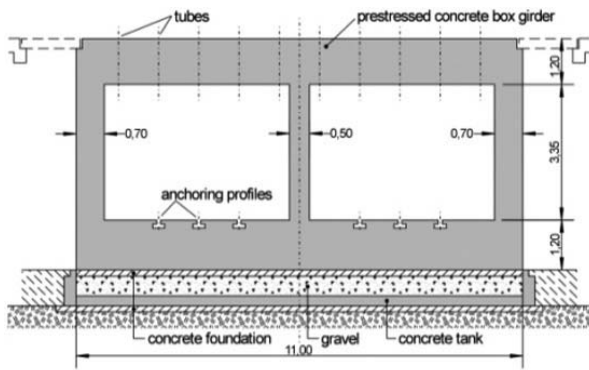


그림 5. Strong floor의 단면

표 3. Strong floor의 기술사항

기술사항	
Size	10 x 30 m <sup>2</sup>
Distance of Foxing Points	1,0 x 1,0 m <sup>2</sup>
Maximal Forces(Vertical)	
Static	± 1,000 kN
Pulsating	± 650 kN
Alternating	± 500 kN
Maximal Forces(Horizontal)	
Static	± 750 kN
Pulsating	± 485 kN
Alternating	± 375 kN

2.3.3 다양한반력 후레임<그림6, 표4>



그림 6. Reaction frame의 사진

표 4. Reaction frame의 기술사항

기술사항	
Size	10 x 30 m <sup>2</sup>
Distance of Foxing Points	1,0 x 1,0 m <sup>2</sup>
Maximal Forces(Vertical)	
Static	± 1,000 kN
Pulsating	± 650 kN
Alternating	± 500 kN
Maximal Forces(Horizontal)	
Static	± 750 kN
Pulsating	± 485 kN
Alternating	± 375 kN

2.3.4 Shaking table(1.6x1.6m<sup>2</sup>)<그림7, 표5>

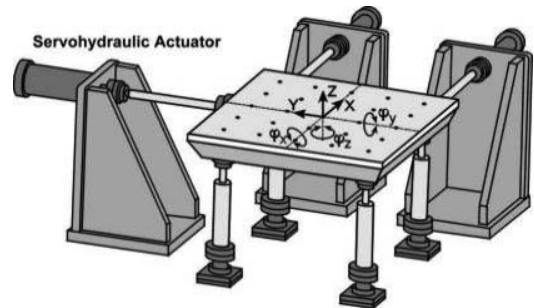


그림 7. Shaking table

표 5. Shaking table의 기술사항

기술사항	
Size of Table	1,6x1,6m <sup>2</sup>
Mass of Table	1,000kg
Maximal Mass of Specimen	2,000kg
Maximal Velocity	1m/s
Maximum Load	100kN
Maximal Stroke	250mm
Examples	
Specimen 2,000kg, Acceleration 3g	Frequenz von 6-40Hz
Specimen 1,000kg, Acceleration 4,5g	Frequenz von 9-40Hz

실험장비와 실린더는 실험제어 및 감시는 컴퓨터지원 시스템을 통해 성공적으로 수행하게 된다<그림 6>. 기존 실험시설은 인장, 압축 및 휨하중에 대한 재료특성값을 구하기 위해 가동 될 수 있으며 구조물 및 부재에 대한 연구

는 1축, 2축에서 다축까지 정적 및 동적하중으로 수행될 수 있다<그림 7>. 이를 위해 프리스트레스트 재하바닥판위에 프레임을 세워 액추에이터를 다양하게 설치하거나 직접 고정된 실험장비를 사용할 수 있다. 정확한 측정값을 위해서 실험이 수행되는 동안에 여러 컴퓨터로 제어할 수 있는 시스템을 갖추고 있다. 이 시스템은 정적 다채널이거나 높은 주파수를 갖고 있는 동적 시그날에 대해서도 도입될 수 있다. 콘크리트 내지는 강재로 제작된 중량이 있는 대규모의 시편의 이동 및 장착도 최대 20톤까지 들어 올릴 수 있는 호이스트와 지게차도 6대까지 갖추어 놓고 있다. 구조연구센터의 실험동은 강재, 목재 및 신소재를 용접 및 작업할 수 있는 작업장을 완비하고 있고 시멘트 및 콘크리트재료 실험실은 별도로 이미 갖추고 있으며 실험 및 측정에서 다루는 전기·전자작업도 실험센터 각 실에서 수행된다.

2.3.5 Wind Channel

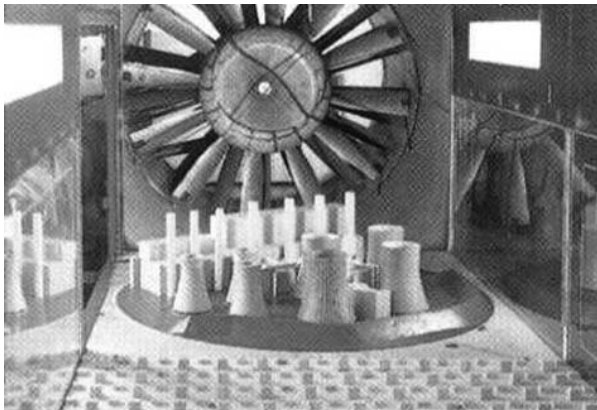


그림 8. Wind Channel 실험장면

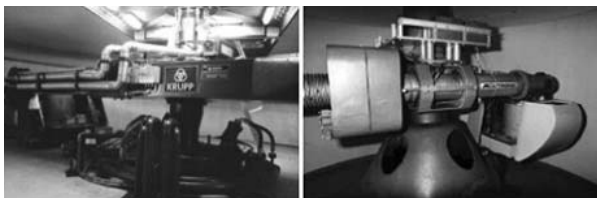


그림 9. 2개 종류의 Geotechnical Centrifuge 실험장면

표 6. 지오센트리퓨지의 기술사양

지오센트리퓨지 명칭	Z I	Z II
운영시작	1987	1992
회전반경	4.125 m	1.8 m
모델질량	2.0 t	0.2 t
모델크기 (l x b x h)	1.2 x 1.2 x 1.75 m	0.7 x 0.5 x 0.5 m
레이디얼가속	250g	200g
용량	500g-tons	40g-tons

3. 맺음말

본인도 독일연구재단(DFG)의 과제였던 “철도콘크리트 구조물의 피로실험”을 3년 동안 이 구조실험연구센터에서 수행 하여 첨단 실험장비를 사용하면서 부러움과 함께 대해 실험에 대한 많은 경험과 지식을 얻을 수 있었다. 한 동안은 우리나라의 많은 학회 및 기업에서도 이 구조실험연구센터 방문하여 세미나 및 Lab-Tour를 하는데 필자가 도움을 주었던 기억이 나곤 한다. 종종 우리나라연구소들이 실험동을 만드는데 Bochum 대학교의 구조실험연구센터에 관해 문의해 오는 경우도 있다. 우리나라도 지금은 1990년대에 기업에서 시작하여 실험동을 갖춘 연구소가 많이 세워졌고 요즘은 대학들도 연구센터, 분산공유형의 실험시설 유치 및 철도기술연구원의 현대적인 실험동과 같이 어느 정도의 수준의 시험시설을 어느 정도 갖췄다고 생각이 든다. 이제부터는 좀 더 활발한 실험적 연구를 수행하여만 하는 연구자의 책임이 있다. 처음에는 시설만 갖추어 놓으면 많은 것을 할 수 있을 것 같지만 실험동의 실질적인 “Output” 및 효율적인 운영을 위하여 많은 실험과 더불어 생기는 “Know How”의 축적이 상당히 중요하다. 이제는 좀 더 많은 국내기술자 및 연구자들이 이러한 양호한 실험적 연구 환경에서 폭넓은 연구경험을 쌓아 선진국에서와 같이 다양한 실험적 연구에서 얻은 경험과 지식을 실무에 옮기고 우리나라에 맞는 시방서를 실험적 연구를 통해 체계적으로 개정할 수 있도록 독립군적인 사명감과 함께 모두 노력하고 할 것을 기대하여 본다. ☺