

CGL 통신

발행처 : 일본 중앙보석연구소(www.cgl.co.jp)

발행일 : 2016.05.27. (No.32)

중국길림(吉林)대학 Superhard material State Key LAB 탐방기

작성자: 일본 중앙보석연구소 Kitawaki Hiroshi 박사

2015년 3월 27일(일)~4월 3일(일), 일주일 동안 중국길림대학 초경질재료에 관한 국가중점 연구실을 방문하여, 중국에서의 보석용 합성 다이아몬드 제조 현황에 대한 몇 가지의 정보를 얻을 수 있었습니다. 또한, 营口(Yingkou)에 소재한 다이아몬드 합성용 초고압장치 제조사와 大蓮(Dairen)에 있는 고압장치용 앤빌(Anvil) 제조사를 시찰하는 기회도 얻었습니다. 아래와 같이 그 개요를 소개하겠습니다.

중국제 HPHT법 합성다이아몬드의 대두

CGL 통신 No.30 (2016년 1월 5일 발행분)에서 소개한 바와 같이 본 연구소에서 작년 9월경부터 주얼리 시장에 혼입한 멜레 사이즈의 HPHT 합성다이아몬드가 계속적으로 확인되고 있습니다. 합성다이아몬드는 1990년대 중반부터 일상적인 감별·감정업무 중 확인되어 화제가 되어왔습니다. 그러나 그 검출빈도가 매우 낮았을 뿐 아니라 무색의 합성다이아몬드가 주얼리 제품에 혼입된 예도 지금까지 거의 없었습니다. 최근, 중앙보석연구소(CGL)에서 확인된 무색의 멜레 사이즈 합성다이아몬드의 대부분이 HPHT법으로 제조된 것이었습니다. 더불어 이것들은 중국에서 대량으로 합성되고 있다는 이야기가 있었기에 그 진위여부에 대한 확인과 함께 향후 동향에 대한 조사가 시급하게 되었습니다.

길림대학 초경질재료 국가중점 연구실(Jilin University Superhard material State Key LAB)

이번에 방문한 길림대학의 초경질재료 국가중점 연구실은 길림성의 長春에 있습니다(Fig.1). 長春(영어: Changchun)은 길림성의 성도(省都)로서 시구인구는 360만명, 도시권 인구는 750만명 규모의 대도시입니다. 시내에는 길림대학 등의 27개 국립대학이 밀집되어 있으며 중국에서는 중요한 교육도시로서 알려져 있습니다. 역사적으로는 1932년~1945년까지 만주국(중국에서는 위만주국이라고 불리움)의 수도로서 新京(Hsinking)이라고 불려졌습니다. 시내에는 만주시대에 일본이 건축한 정부관련 건축물이 당시의 모습 그대로 남아있으며, 지금도 은행, 병원, 대학교의 일부로서 사용되고 있습니다.(Fig.2, Fig.3, Fig.4).

길림대학은 1946년에 설립되었으나 2000년도에 다른 5개의 대학과 합병되었고, 2004년에는 인민해방군 군수대학도 통합되어 중국에서는 최대 규모를 자랑하는 국립대학이 되었습니다. 학생, 대학원생 및 교직원을 포함해 10만명 이상이 재적하고 있습니다. 정문에는 6개 대학이 합병되었다는 것을 의미하는 6개의 돌 기둥이 세워져 있습니다.(Fig.5)



Fig.1 중국의 지도



Fig.2 구 만주국의 교통국 건물. 현재는 길림 대학 약학계 전공 건물로 사용되고 있다.



Fig.3 구 만주국의 국무원 건물. 현재는 길림 대학 의학계 연구동으로서 사용되고 있다.



Fig.4 만주중앙은행 건물. 현재는 중국인민은행으로서 사용되고 있다.



Fig.5 길림대학 정문(상)과 이학계 연구동(하)

국가중점 연구실은 1984년에 자국의 기초연구 레벨을 끌어올리고, 국가 발전에 기여하는 기술 활동을 촉진하여 경제·사회의 중대한 문제의 해결을 위한 목적으로 만들어졌습니다. 설립 초기 년도에는 10개의 실험실이 설치되었고, 그 후 10년 동안 81개의 실험실이 설치되었습니다. 현재는 중국 전역에 200개 이상의 국가중점 연구실이 설치되어, 기초연구가 중요한 학문분야 및 국민경제, 사회발전의 중점분야를 기본으로 망라하고 있습니다.

길림대학 초경질재료 국가중점 연구실은 원자력연구소와 물리학연구실을 기초로 1989년에 설립되었습니다.(Fig.6) 초경질재료는 당시 「전략물자」로서 간주되었고 고압연구는 근대의 국방관련 중요한 자료 취득 방법으로 여겨져 왔습니다. 초경질재료 국가중점연구실은 설립 이래 많은 성과를 이루어왔고 특별히 신기능성

재료로서 고품질 다이아몬드 결정에 관한 연구는 중국 산업계의 발전에도 크나큰 기여를 해왔습니다. 현재는 60~70명의 연구자가 재직하고 있습니다.



Fig.6 길림대학 국가초경질재료 중점연구실 건물(좌)와 입구(우)

필자는 중국에서 초고압법 다이아몬드 연구의 일인자로 알려진 초경질재료 국가중점연구실의 Xiaopeng Jia 교수를 만났습니다.(Fig.7) Jia교수는 1988년에 일본으로 유학하여 1996년에 쯔쿠바 대학에서 박사학위를 취득하였습니다. 그 후, 무기재료연구소(현 물질재료연구소)에서 근무하면서 일본에서 오랜 기간 고압 기술을 연구하였습니다.

중국제 다이아몬드 합성용 초고압장치

중국에서는 1966년도에 처음으로 국산 큐빅형 멀티·앤빌 장치 개발되었습니다. 그리고 다이아몬드 제조에 대한 실증실험이 성공하여 중국에서의 초경질재료 산업의 형성 및 발전에 지대한 공헌을 하였습니다. 이 장치는 구조가 단순하고 저가에 조작의 용이성 등의 장점으로 순식간에 양산되었고 외국으로부터의 발주가 밀려들어오게 되었습니다.

중국제 큐빅형 멀티·앤빌 장치는(Fig.8), Hinge에서 6개의 독립 앤빌 구동 램이 결합되어있어, 6개의 앤빌이 입방체(큐빅) 시료에 압력을 가합니다.(Fig.9) 장치 개발 초기에는 벨트형 등의 다른 대형고압장치에 비해 시료부 체적이 작고 공정 1회당 생산량 한계가 있었습니다.



Fig.7 Xiaopeng Jia교수와 큐빅형 멀티 앤빌 장치(상, 하)



Fig.8 가동 중인 큐빅형 멀티·앤빌 장치(좌) 와 조작시스템 (우)

※ CGL통신 원본 자료와 번역본은 배포처인 서울주얼리지원센터 감정연구소에서 받아가실 수 있습니다.

그러나 2000년~2005년에 걸쳐 대용적의 대형 Hinge식 장치가 개발되어(Fig.10), 크기가 작은 스톤의 대량 생산이 가능해 졌습니다. 장치에는 유압 실린더의 직경의 차로 인한 몇 종류의 타입이 있습니다. 최대급으로 $\varnothing 850\text{mm}$ 이지만, 현재 보석용 합성다이아몬드 제조에 사용되고 있는 것은 $\varnothing 650\text{mm} \sim 750\text{mm}$ 이라고 합니다. 이 장치의 장점은 대당 제작비용이 낮다는 점입니다. $\varnothing 300\text{mm} \sim 400\text{mm}$ 장치로 조작시스템을 포함해 1000만엔 정도, $\varnothing 650\text{mm}$ 장치라 해도 1300만엔 정도입니다.

중국에서의 고압합성 연구는 1980년대에는 킬링성 등을 중심으로 동북지방에서 시행되어 왔습니다. 그러나 이 지역은 아침·저녁의 일교차가 극심하며 특히 엄동기의 기온이 -30 도 이하로 내려갈 정도이기 때문에 장치 내·외부의 온도제어가 곤란했습니다. 이러한 이유로 연평균 기온이 높은 湖南省(Hunan)이나 河南省(Henan)에 그 거점이 이동되어 왔습니다. 1990년 이후, 합성 다이아몬드를 제조하는 대기업 대부분의 소재지가 河南省(Henan)에 집중되어 있습니다.



Fig.9 6개의 독립한 앤빌로 구성된 가압부 (앤빌 1개는 사진 밖에 위치)

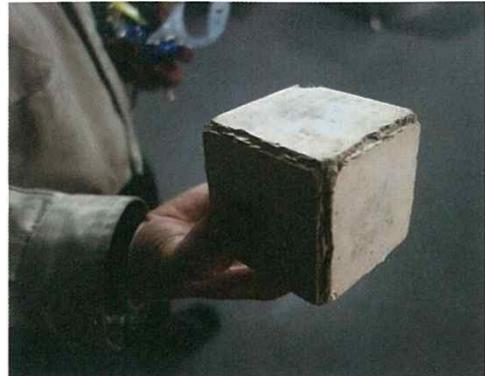


Fig.10 입방체의 시료(반응 셀)

중국에서의 보석용 HPHT합성의 현황

중국에서는 경제성장의 가속이 건설업에도 크나큰 영향을 끼치고 있습니다. 맨션이나 고층건물에 공실이 증가하고 있으며 일부 언론에서는 유령 도시화된 지방도시도 있다는 보도가 있습니다. 그 영향으로 인해 건설자재의 절단이나 연마에 사용되는 공업용 소립 다이아몬드의 수요도 급격히 감소되고 있습니다. 중국 국내에서 사용되고 있는 공업용 소립 다이아몬드는 거의 100% 중국제 HPHT법 합성다이아몬드입니다. 그 때문에 중국제 공업용 소립 다이아몬드의 가격도 하락하여 현재는 1ct 당 10엔 이하가 되었습니다.

중국에서는 3대 대기업이라 불리는 합성다이아몬드 제조회사가 河南省(Henan)에 있습니다. 이 3개 회사에서 다이아몬드 합성용의 초고압장치가 7000대 이상, 공업용 소립 다이아몬드의 연간 생산량이 120억ct을 자랑하고 있습니다. 이 3개 회사는 각 사의 독자적인 결정육성 기술개발이 진행되어 현재는 보석품질의 무색 다이아몬드를 양산할 수 있는 수준이 되었습니다. 그리고 이익률이 낮은 공업용 소립 다이아몬드 생산에서 새로운 시장으로서의 보석용 다이아몬드의 생산으로 전향해 가고 있습니다.

A사에서는 2014년 말부터 2mm 이하 정도의 보석용 합성 다이아몬드의 양산을 개시했고(Fig.11(a)), B사에서는 2015년 초부터 2~3mm 정도의 원석을 양산하고 있습니다.(Fig.11(b))



Fig.11(a)



Fig.11(b)

Fig.11 3대 기업이라 불리는 A사(a)와 B사(b)의 결정원석. B사의 원석에는 노란 종자결정이 부착되어 있다.

그 후, 공업용 다이아몬드 생산 중소기업인 타 회사들도 연이어 보석사업에 뛰어들어 河南省(Henan)에만

10개 회사 이상이 보석용 멜레 다이아몬드를 제조하고 있습니다. 또한, 山東省(Shandong)에서는 우크라이나의 기술을 도입한 합병기업이 2015년 6월에 설립되어 멜레크기가 아닌 1ct 이상의 보석품질의 합성다이아몬드 제조를 시작하였습니다. 이 회사에서는 70대 이상의 프레스 장치를 사용하여 월 생산량 1000~2000ct을 제조하고 있습니다.

보석용에 사용되고 있는 일반적인 중국제 초고압장치로 1대당 1회의 공정(1일)을 통해 10ct(멜레크기 원석 기준 300~350개 정도)이 제조 가능합니다. 중국 전역에서는 월 생산량 15만ct~30만ct(멜레크기 원석 기준 450만~1000만개 정도)가 제조된다고 있는 것으로 추정됩니다.

초고압장치 제조회사와 모루 제조회사 방문

長春(Changchun)의 길림대학을 방문한 후, 고속철도(신칸센)을 이용해(Fig.12), 營口(Yingkou) 소재의 초고압장치 제조회사와 앤빌(Anvil) 제조회사를 방문했습니다. 중국 내 이동 시에는 이 고속철도(신칸센)가 편리합니다. 1000km 이내의 거리라면 고속철도(신칸센), 그 이상의 거리는 비행기를 이용한다고 합니다.

營口(Yingkou)의 초고압장치 제조회사는 2014년에 리뉴얼하여 이 곳에 새로운 공장을 건설했다고 합니다.(Fig.13). 4만5천 평방미터의 광대한 토지를 이용하여 ø750mm급 장치를 월 20대 정도를 생산하고 있습니다.(Fig.14) 중국에서는 이러한 큰 규모의 초고압장치 제조회사가 4개사 정도가 있고, 이 곳은 그 회사들을 뒤잇는 중견급 회사였습니다. 놀라운 것은 이 회사는 장치의 제조 뿐만 아니라, 그들의 독자적인 프레스장치를 사용하여 보석용 다이아몬드 제조도 하고 있었다는 점입니다. 현재 생산되고 있는 것은 3~4mm 크기의 노란색 lb형의 결정 뿐이었지만(Fig.15), 향후에는 크기가 큰 다양한 색상의 보석용 다이아몬드를 양산하고 싶다고 합니다. 이렇게 중국에서는 보석용 HPHT 합성 다이아몬드가 새로운 비즈니스 찬스라고 여겨지고 있는 것 같습니다.



Fig.12 고속철도(신칸센)



Fig.13 營口(Yingkou) 소재 초고압장치 제조회사



Fig.14 제조 중인 큐빅형 멀티-앤빌 장치



Fig.15 합성된 보석용 단결정 다이아몬드

菅口(Yingkou) 시찰 후에는 大蓮(Dairen)까지 차로 이동하여 앤빌 (Anvil) 제조회사를 방문하였습니다(Fig.16). 이 회사에서는 중국 국내 뿐만 아니라 일본을 포함한 다양한 나라들에 앤빌을 수출하고 있습니다. 먼저 방문했던 菅口(Yingkou)의 초고압장치 제조회사나 河南省(Henan)의 대기업 제조사인 B사에도 공급하고 있었다라는 것입니다. 이 곳에서는 대형 장치가 몇 개씩 도입되어 있었을 뿐 아니라 수준 높은 가공기술을 보유하고 있는 듯 했습니다(Fig.17, Fig.18, Fig.19).



Fig.16 大蓮(Dairen) 소재 앤빌 제조회사



Fig.17 최신식 가공용 대형장치



Fig.18 독자적으로 개발한 가공용 설비



Fig.19 소결용 대형 설비(좌)와 그 내부(우)



앤빌(Anvil)은 초고압장치의 피스톤 끝에 부착된 부품입니다. 초고압발생을 위해서는 그 압력을 견딜 수 있는 고강도 앤빌이 중요하다고 할 수 있습니다. 앤빌은 일반적으로 텅스텐 카바이드에 코발트를 첨가한 초경질 합금(WC-Co)이 사용되고 있습니다. 그러나 그것만으로는 다이아몬드를 합성하는데 필요한 초고압을 견딜 수 없기 때문에 앤빌 끝 형태에 대한 연구가 진행되어 원추형으로 제작되어 있습니다. 원추형의 형태를 사용함으로써 앤빌 끝에서부터 멀어짐으로 인해 압력을 받는 면적이 증가해 응력이 분산됩니다. 이로 인해 초고압 하에서의 앤빌 파괴가 억제됩니다. 이 테파각의 최적화를 통해 강도는 2~3배가 된다고 합니다.(Fig.20)



Fig.20 제조된 앤빌(Anvil) 제품