

공업생산 기술의 발달과 현실

金 章 鎬

〈KIST 機械加工研究室長·工博〉

■ 본문은 KIST가 독일정부와 산학협동재단의 후원을 받아 독일 생산공학 및 자동화연구소 공동주최로 작년 3월 서울에서 행한 학술 세미나의 내용중 제일테마를 번역 요약한 것이다.

상기 제목의 연설은 독일 하노버공과대학교 정교수이며 동의학 생산공학 및 공작기계연구소장인 Prot. Dr-Ing. Toenshott에 의해 행해졌다.

일반적으로 역사의 토의란 말은 수천년에 걸친 사실에 관한것일때 쓰임에 반해 공업생산기술의 경우는 전체 역사가 한 세기 만에 겨우 미칠 정도다.

근본적인 개발이 이 기간 동안에 집중 되었다. 생산기술은 이 기간 동안에 일반적인 역사 흐름을 결정적으로 변화시켜 사람들의 일상생활에 적지않게 영향을 주었다. 공업생산기술(Industrial Production Technology)의 성취로 말미암아 "건설적이고 인류복지를 증진 시키는 많은 것과 보다 많은 사회정의 그리고 옛날부터 내려온 결핍과 공포로부터의 해방등 수많은 새로운 안락"을 인간에게 안겨 주었다. 생산기술의 발달 이야말로 중세기말의 제봉운동과 종교개혁이나 불란서혁명과 같은 것으로서, 유럽에 있어 인간생활 조건을 향상 시켰던 것들과 똑같은 서구세계의 위대한 과정 이었다고 평한다. 공업생산기술의 발달은 극소수의 부유층의 오락물을 위해서가 아니고 모든 사람들의 개인적인 풍요와 안일을 위해 기여했음이 그 이유이다.

개인의 활동범위를 확장 시키는데 사용된 수송수단으로서 자동차가 그렇고 가장 힘든 일 중의 하나인 팔래 하는것을 경제적 한도내에서 그 예를 볼 수 있다. 생산된 상품의 관점에서 볼 때 생산기술의 발달과 그 덕을 향유하는 실례는 헤아릴 수 없이 많다. 그러나 우리는 여기서 생산공정 자체에 관하여 언급 하고자 한다. 생산기술이 경제개발에 미치는 영향도를 비례로 표시된 고용형태를 보고서 짐작 할 수 있다.

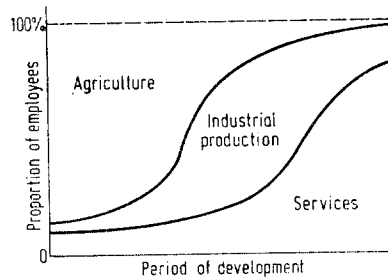


Fig. 1. Development of the employment figures of an economy

그림 1은 년도에 따른 농업 공업생산 그리고 서비스업의 세부분으로 나누어진 고용형태를 보여준다. 여기에서 서비스 부분은 무역, 은행이나 보험, 행정, 보건업무, 교육이나 오락은 물론 기타 농업이나 공업생산에 직접적으로 관계되지 않은 모든것을 포함하고 있다. 최초에는 농업이 우위성을 보이지만 공업생산의 출현으로 농업이 기계화와 자동화에 의해 밀리고 있음을 볼 수 있다. 미국 국립노동통계국의 자료에 따르면 미국에 있어서 1800년 전후에는 농업에 종사하는 노동력이 90%를 차지하고 있었다. 그러나

오늘날은 5% 이하 밖에 되지 않는다.

동 통계국에 의하면 공업생산에 대한 비율은 1947년과 1978년 사이에 30%에서 23%로 점차적으로 감소되고 있다. 그래서 공업생산에 종사하는 고용형태가 감소하는 경향을 이미 알아차릴 수 있다. 이와 유사한 현상이 보다 고도로 공업화된 유럽의 경제에서도 볼 수 있다. 우리도 공업생산에 필요한 노동력이 점점 감소하는 추세에 놓여있으며, 따라서 새로운 체제로의 조정이 어려워 많은 공업국가에서는 실업이 일어난다. 공업생산 분야는 사회적 요인과 시장의 요구에 의해 다음과 같은 3가지 방향으로 그의 개발이 이루어지고 있다.

- 즉. ○ 품질의 향상
- 경제성의 개선
- 인도적 작업환경

다음에는 상기 세가지 방향에 관해 고찰하기로 한다.

품질의 향상

이러한 경향은 지난 수십년 간의 개발에 근거를 두고있다.

상품의 질은 그것이 생산과정에서 얻어지는 정밀도에 결정적으로 영향을 받는다.

그림 2는 공업생산의 역사에 해당하는 전체기간 동안 그 정밀도에 있어서 큰 성장이 있었음

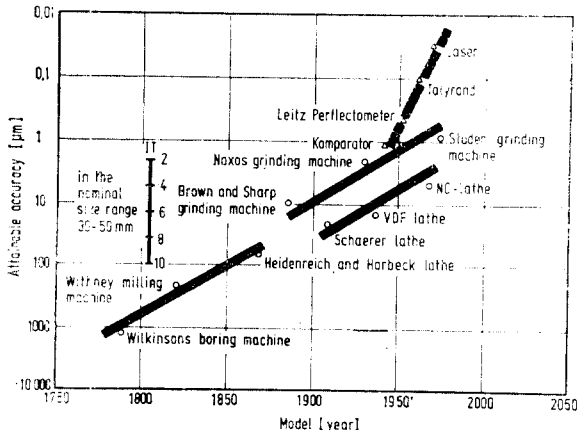


Fig. 2. Increase in the production accuracy of machine tools

을 보여준다. 공작소에서 최고로 얻을수 있는 생산정밀도가 그래프로 나타나 있다. 금세기 동안 우리는 정밀도가 10년 마다 1IT Quality (ISO에 따른 IT공차등급)로 증가 해왔음을 볼 수 있다. 1800년경의 Wilkinsons Boring Machine은 그 당시까지 결코 이룩되지 못했던 정밀도를 가지고 Cylinder를 가공했다. 이것이야말로 James Watt의 증기기관을 제작하기 위한 필수적인 전체조건이었다. 여기서 우리는 이런 가공기술 없이는 많은 설계상의 진보가 현실화될 수 없다는 한 실례를 보게 되었다. 개발이 한층 더 진전되는 과정에서, 정밀성이 소량의 개별적인 생산에서만 이루어지는 것이 아니라 수많은 가공품에 걸쳐서도 유지될 수 있어야 한다는 요구에 임하게 되었다. 적은 공차로 다량생산하는것은 교환 가능한 제작이란 의미에서 필수적인 요구라 하겠다. 이러한 방법으로 개개의 Components나 Subassemblies들은 독립적으로 각각 생산되어 다시 새로운 Fitting이나 Machining을 하지않고서도 조립이나 상호교환이 가능하다. 이것은 경제적인 대규모 제작에 있어 하나의 기본사항이다. 그러나 교환 가능한 제작은 생산품에 따라 어느수준의 정밀 생산에만 가능하게 되었다. 교환가능한 제작이야말로 대규모, 대량생산의 궁극적인 형태라 하겠으나 이것은 기계공학의 모든 분야에 해당하는 사실은 아니다. 예를들면 아직도 공작기계의 조립시 기계의 정밀도에 있어 중요한 의미가 있는 부분은 바로 Fitting에 의해 마무리 지으며 아직 이런 작업 없이 교환 가능한 제작은 이루어지지 않고있다. 또한 조립된 기계의 정밀성 향상을 위해서 모든 개별적인 Components의 정밀성을 꼭 증대 시키는것이 합리적일 수가 있느냐 하는 것은 의문이다.

1950년 이전에 Production Measuring Engineering의 개발로 상당히 많은 진전이 뒤따랐고 정밀성이 증가되기 시작했다. 이와 관련해서 실험실에서 뿐만 아니라 제조공장에서도 같은 정도의 정밀성이 이루어졌다는 것은 의미있는 일이다. 공장에서도 레이저를 이용하여 여러가지 측정을 정확히 할 수 있게 되었고 여기에 Digital

□ 展 望

Electronics를 이용한 평가와 공정기술은 생산의 정밀성을 한층 더 증가 시키는 길을 열어놓았다. 왜냐하면 제조공장에 부합되는 Production Measuring Engineering과 얻을수 있는 정밀생산 수준 사이에는 거의 직접적 함수관계를 가지기 때문이다. “공작기계의 정밀측정은 공정의 준비과정에서 이미 수행될 수 있고 측정된 오차는 현장에서 공구와 공작물 사이의 운동을 올바르게 잡는데 사용될 수 있다” 이와같은 방식으로 기계의 제작, 설비에서 생기는 오차는 일부이긴 하지만 전체적으로 보상될 수 있다. 열에의해 일어나는 결과 처럼 시간과 관계가 있는 나머지 오차도 Control loops와 레이저를 사용 함으로서 해결 될 수 있다.

사실상 이러한 원리는 Direct Path Measurement로서 N.C공작기계에서 부분적으로 실현되었다. 이점에서, 생산측정공학은 가공된 공작부품을 측정하고 또 완성후에는 전체적인 공작물을 테스트하는 수동적인 역할로 부터 출발 하였다. 그러나 이러한 측정공학은 점점 활발하게 생산공정에 보다 밀접히 도입 이용되고 있다. 궁극적 목표는 생산에 측정이 수반 되어야만 하는

것이며, 이러한 목표에 도달함에 있어 Production Engineer에게 끊임없이 도전하고 있는것은 현장에서 측정에 대한 적절한 인식이 부족하다는 사실이다. 문제는 자동적으로 아니면 많은 경비를 들이지 않고도 특수한 측정임무에 부합될 수 있는 유연성있는 측정수단을 찾아야 하는 것이다.

그림 3은 N.C선반에서 큰 측정범위에 대하여 사용될수있는 직경을 재는 측정기구를 보여주고 있다. 그것은 공작물 둘레에 측정바퀴를 굴려서 원주의 측정치를 직경으로 환산한다. 측정 이외에도 형태의 결함에서 오는 오차도 역시 기록될 수 있다.

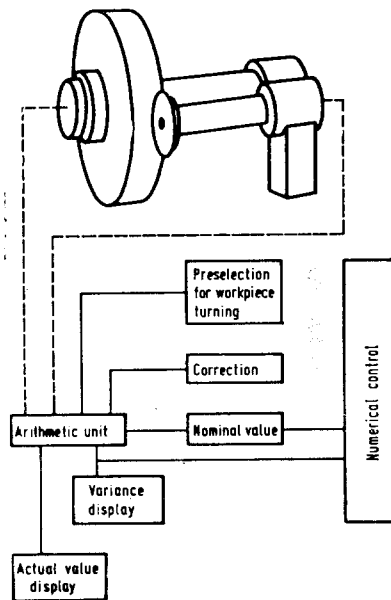


Fig. 3. Flexible diameter measuring instrument (Diacont, Perthen-Hanover)

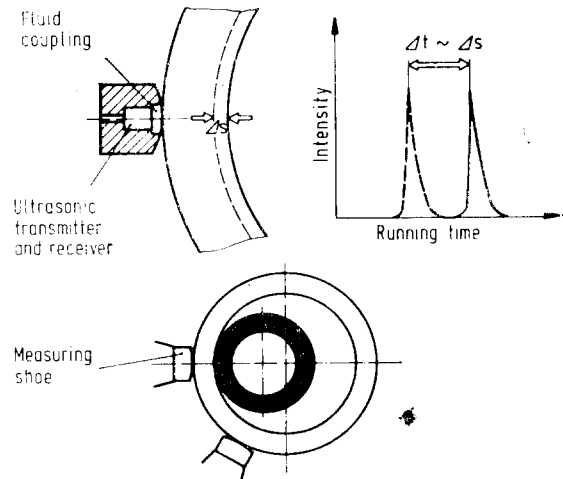


Fig. 4. Wall thickness measurement of rolling bearing rings by ultrasonics

Rolling Beaving Ring의 내부를 연삭가공 하는 동안에 Ring의 두께가 초음파 측정장치에 의하여 측정 되는 것을 그림 4에서 볼 수 있다. 동시에 그 기구는 가공된 크기를 테스트 할뿐만 아니라 전체 연삭공정기간 동안에 작동하기 때문에 공정 까지도 제어하는데 기여한다. 이와같은 방식으로 Roughing에서 Finishing Phase에 이르는 공정의 최적화도 기대될 수 있다. 생산측정공학은 분명히 생산품의 질을 향상 시키는 데 기여할 뿐만 아니라 그 자체가 생산설비 자동화의 보다 높은 형태를 위한 전제조건이며 나아가서는 경제적 개선을 가져오는 요소인 것이다.

경제성의 개선

경제적인 진보가 생산공정의 모든 분야에서 이룩되었다. 즉, 새로운 생산공정이 도입 되기도 했고 어떤 경우에는 이미 알려진 공정이 더욱 더 개발되기도 했다. 가공방법의 분류는 형의 창조, 변형, 재료에 증감을 주는 가공등에 따라 분류 하는것이 바람직한 것으로 증명되었다. 독일에서는 DIN 8580으로 규정 되어있어 6개의 Main Group으로 나타난다. 최초의 Forming(원형가공)에는 모든 주조공정, Sintering, Electroforming이 있다.

Create cohesion	Retain cohesion	Reduce cohesion	Increase cohesion
1. Initial forming	Alter shape		
	2. Shaping	3. Separating	4. Joining
	6. Altering material properties		
	Rearranging of material particles	Singling out of material particles	Inserting material particles
			5. Coating

Fig. 5. Classification of production methods (DIN 8580)

Shaping은 단조, 압출가공, 오무리기가공, 구부리기가공과 같은 변형가공(소성가공)을 의미한다. 중요한 Main Group인 절단가공에는 절삭과 절단이 있다. 최초의 Forming과 Shaping공정들은 일반적으로 공작물을 예비형태로 만드는 작업이고 그후의 가공공정으로 그들의 완성형태가 이루어진다. 가공방법은 50년대 초반 이후로 대규도, 대량생산을 위해 되도록 Forming을 최대한으로 할수있는 가능성 쪽으로 기울어지고 있음을 볼수있다. 기계가공은 큰 덩어리는 주물이나 소성가공에 의하고 절삭은 Finishing을 하는 정도로만 행하는 경향이 있다. 즉 절삭은 예전의 Roughing과 Finishing에서 Finishing만으로 행해진다. 이렇게 되기위한 전제조건은 최초의 Forming Process에서 정밀도가 충분해야 하는것이다. 이러한 이유 때문에 몇가지 대표적 개발들이 이루어져 왔다. 주조기술에는 개발시

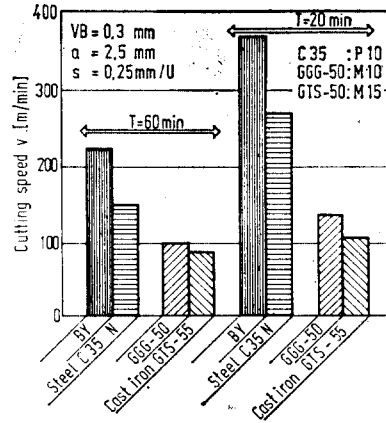


Fig. 6. Comparison of tool life when machining cast iron and steel

Material Engineering, Patternmaking, Mouldmaking등 3개의 주요한 사항이 강조되며 고급 주조재료를 사용함으로써 예전에는 단조품으로 제한되었던 부분까지 그들의 응용이 미치게 되었다. 이러한 예로서는 무엇보다도 자동차공업에서 발견 될 수 있는데 Camshaft, Crankshaft, Rocker Arms등이 Cast Iron으로 만들어지고 있다. 이렇게된 결정적 요인은 완성된 형태에 보다 가깝고 재료비용이 싸다는 사실이다. 가공특성에도 이득이 나타 날 수 있다. 이와 관련하여 고도로 자동화된 공장에서 가공할때 Chip의 형태가 강철의 경우보다 주철의 경우 훨씬 작업이 수월하다는 사실도 중요한 이유이다. 반면에 최근의 연구에 의하면 공구의 마모에 관한 한 강철이 보다 이득이 있다는 사실이 밝혀졌다. (그림 6 참조) 그러므로 강철이나 주철이나의

Objekt	Weight of casting in kg	Finishing mins per piece	Objekt	Weight of casting in kg	Finishing mins per piece
Stuffing box gland	0,370	none	Stuffing box gland	0,740	15
Bottom bush	0,050	none	Bottom bush	0,130	5
Spigot nut	0,210	8	Spigot nut	0,470	13
Valve cone	0,970	10	Valve cone	2,000	20
Valve seat	0,370	10	Valve seat	0,950	20
	1,970	28		4,290	73

Fig. 7. Process comparison, sand casting-shell moulding (according to polzgueter)

□ 展 望

일반적인 결론을 내리는것은 가능하지 않다.

주형제작의 개발로 주조의 정밀성이 상당히 증가 되었고 따라서 공정의 자동화가 한층 더 촉진되었다. 왜냐하면 최초로 성형된 부품의 정밀도가 증가함에 따라 그후에 오는 Finishing에 있어서의 자동화 정도도 증가될 수 있기 때문이다.

Shellmoulding 그것은 다량생산에 적절한 것으로서 이러한 개발에 상당한 기여를 했다. (그림 7) 여기에서는 대부분 Furane 수지를 주성분으로 하는 인조수지가 접합재로서 사용되며 이와 같이하여 주물에서 가공되는 재료의 분량비율 전조기구에 대한 고정자본 Manual Moulding과 Cleaning에 대한 지출이 상당히 감소될 수 있다.

Full Mould Process의 효과는 비슷하다. (그림 8)

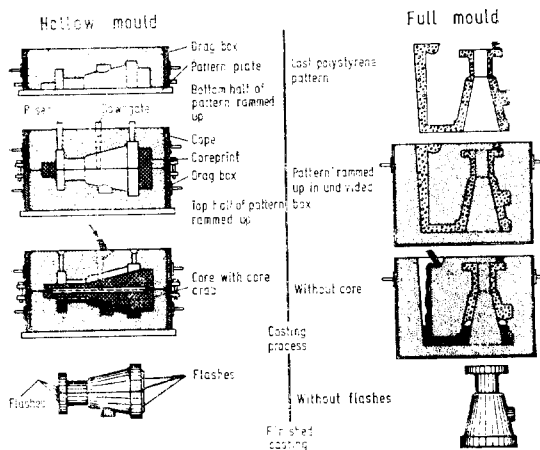


Fig. 8. Moulding and casing process in conventional casting and casting with lost patterns

Method	ISO Quality															
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16				
Drop forging, normal (F and E)																
Drop forging, accurate (G)																
Drop forging, precision (P)																
Extrusion, cold																
Size embossing (thickness)																
Round kneading, cold																

Fig. 9. Tolerances for shaping processes (according to voigtlander)

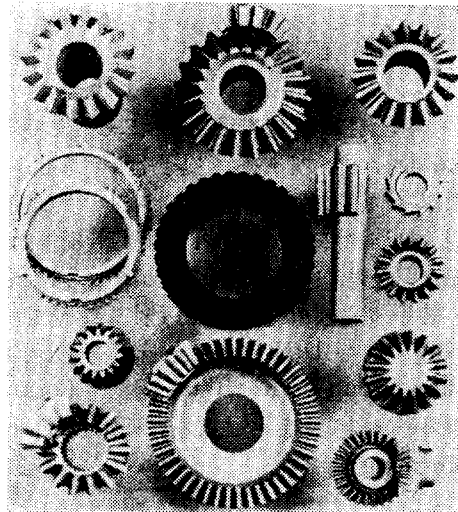


Fig. 10. Precision-forged parts (according to voigtlander)

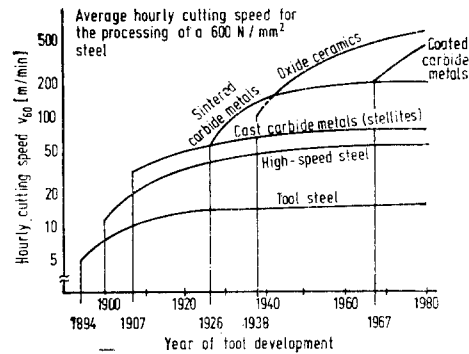


Fig. 11. Development of tool materials

Styroper 같은 Gasifying Plastics로 만들어진 Pattern이 사용된다. 장점은 주로 Flash-free casting과 Casting의 Inner Cavities의 Mould에 필요한 Core가 필요없다는 점이다. Shaping에서의 정밀도 증가는 Casting의 경우와 마찬가지로 합리화에 목적을 두고 있다. 여러방법의 얻을 수 있는 정밀도는 그림 9에 있다.

어떤 경우에 Functional Surfaces(기능면)은 바로 Assembly(조립) 할 수 있게 생산된다(그림 10) 이러한 정밀도는 높은 Tool Cost와 여러단계의 Shaping에서만 얻을 수 있다. Producing Times를 줄임에도 불구하고 생산경비가 꼭 줄어

드는것은 아니다. 기계가공 공정의 개발은 Tool Material분야의 발달과 깊은 관계가 있다. 그림 11은 Medium-streugtn Carbon Steel가공의 경우 여러 Tool Material을 사용 했을때의 시간당 Cutting Speed이다.

V60은 Tool Lite를 60분으로 했을때의 Cutting Speed를 의미한다. 근래에는 Throw-away Tip 과 Coated Carbicle Metals과 극도로 단단한 Polycrystalline Tool Material의 개발로 상당한 발달을 이룰 수 있었다. 공구교환 시간이 줄어들고 Throw-away Tip의 가격이 싸짐에 따라 가격권에서의 최적 Tool Lite는 감소했다. 다시 말해 Tool을 높은 Cutting Speed로 사용 할 수 있게 됐다.

Coated Tip의 사용을 위해서는 Soldered Cutting Tip에서 Clamped Cutting Tip으로 바꾸어야 한다. 이것은 Toolmaking에 있어서 기능을 분리하게하는 생각을 가능하게 했다. Tool의 Active Part는 상당한 마모와 높은 동적 힘을 받는다. 따라서 Active Part는 내마모성과 인성이 있어야 한다. 이러한 성질은 일반적으로 Carbide Metal의 조성에 의해 영향을 받는다. Toughness는 Cobalt, Binder의 성분을 증가 시키므로 얻을 수 있고, 내마모성은 Tungstem Carbide, Tantalum Titanium Carbide의 성분을 늘림으로 얻을 수 있다. 그러나 한가지 특성을 좋게하기 위하여 다른 성질을 나쁘게 함으로서만 얻을 수

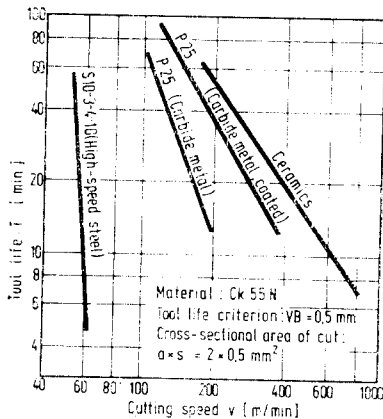


Fig. 12. Wear behaviour of tool materials(according to INFOS)

있었다. 이렇던것이 내마모성의 Carbide나 Oxide를 접촉제(contact material)로 외부층을 이루게하고 Tough한 재질로 Base Material을 형성케 함으로써 내마모성과 Toughness를 동시에 얻을수있다. Coating Material로는 TiC, TiN, Al₂O₃등이 사용되며 이것들의 조합도 사용한다. (그림 12) 최근에는 다이아몬드나 Boron Nitride 같은 주도로 단단한 Polycrystalline Tool Material이 개발됐다.

위의 재료들은 보통의 Steel Machining에는 부적당하다. 다이아몬드는 Carbon철과의 높은 친화력 때문에 화학적 마모를 받으며 Boron Nitride는 고경도의 재료에 대해서만 경제성이 있다. (45HRC이상)

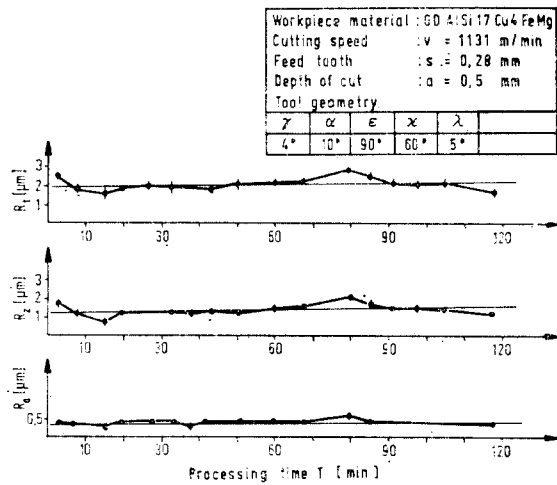


Fig. 13. Alteration in roughness when milling with polycrystalline diamond

한편 Aluminium의 가공에는 Polycrystalline 다이아몬드가 적합하다. (그림 13) 이 공구재료는 자동차엔진의 Cylinder Head나 Cylinder Block등이 Aluminium합금으로 만들기 시작한 이후 자동차공업계의 특별한 관심을 모으고있다. 그 이유로는 경량화에 의한 유류 절약차로의 경향 때문이다. 승용차의 경우에 100kg의 자동차 무게감소는 100km 주행시 1L의 연료절약이 된다는 경험적인 법칙이 있다.

인도적 작업환경

기계나 Production Plant는 사람에게 맞도록 만들어져야 한다는 요구는 새로운 것이 아니다. 그러나 최근에는 이러한 점에 주의가 기울여졌다. 기계의 Ergonomic한 설계는 판매를 촉진하는 점으로 간주된다. 법적인 규정에 의해 기계의 소음은 상당히 중요하게 되었다. 독일연방에서는 사고방지 규정중 소음에 관한 규정은 작업장에서의 소음은 Energy-weighted Sound Level로 85dB로 제한했다. 오늘에 와서 소음을 제한하는 엄격한 법적인 규정은 대부분의 산업국가에 적용됐다. 이유로는 사회적, 경제적인 이유가 있다. 그림 14는 독일연방에서의 소음에 의한 청력장애의 통계이다. 증가율은 놀랄만하다. 소음에 의한 청력장애는 독일의 금속가공산업에 있어서 단연 제일 큰 직업적인 불편으로 되고있다.

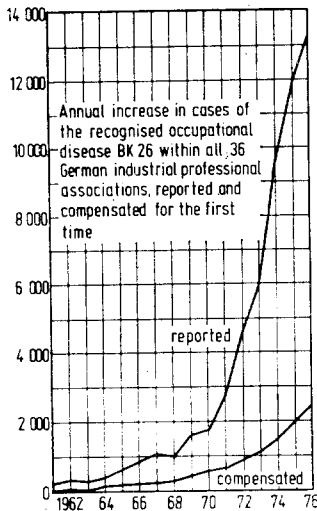


Fig. 14. Defective hearing due to noise at work

재해보상 상에서 보아 각 개인 평균보상으로 160,000DM의 돈이 드는것을 고려하면 엄청난 경제적인 손실은 분명해진다. 청력장애로 인정된 경우의 급격한 증가는 기계의 소음자체가 악

화된 것에 의한것은 아니다. 그림 15는 오히려 작업장에 대한 소음규제가 커진것을 보인다. 소음문제를 해결하기 위하여 음향학에 대한 축정이 선행되어야 한다. 한편 소음의 감소는 음원으로 부터 소음을 줄이려는 경향이 있다.

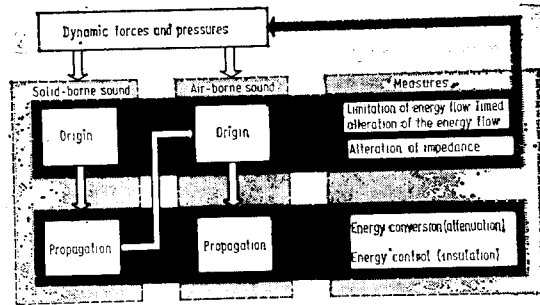


Fig. 15. Possibilities of intervention in the mechanism of sound production

그림 15는 Production Process에서 소음제거의 가능성을 보인다.

축정은 공정이 이루어지는 곳과 생산구역과 Airborne Sound, Solid Borne Sound의 전파에 대해 이루어진다. 경험에 의하면 음원의 가까이에서 측정 할수록 측정정비가 적게 든다는 것이다.

요 약

Production engineering의 개발방향을 “품질의 향상”, “경제성의 개선” 그리고 “인도적 작업환경”으로 나눌수 있다. 생산정밀도는 십년마다 약 1IT. Quality 만큼 증가해왔다. 그러나 더큰 발전이 공정의 자동화를 통해 이루어질 것으로 기대된다. 일차 성형공정에서의 기하학적 정밀도의 증가는 Finishing Operation의 자동화를 선도하고 있고 Finishing은 다시 공구재료에 의해 큰 영향을 받는다. 최근에는 작업조건의 인간화의 문제에 큰 관심이 주어지고있어 Production Plant의 소음은 큰 문제로 대두되어 그 해결책을 찾고있다.