

岩石發破作業에서 非電氣式 發破方法의 必要性 檢討

A Study on Nonel Used Blasting

姜 大 雨\*

D.W Kang

1. 비전기식 발파방법의 필요성

암석을 화약에 의해 파쇄하기 위한 이론적 연구를 시작한 것은 1940년대에서 부터 스웨덴에서 본격화 되었으며 이때부터 진동의 감쇄와 기폭 system의 안전성의 확보가 필요하게 되었다. 따라서 최근에 새로운 에멀전(Emulsion)폭약과 비전기식 Millisecond(MS) 뇌관인 NONEL과 EXEL뇌관이 개발되어 사용되며 진동을 확보하게 되었기에 이 system이 건설안전 작업을 이룩하기 위해 꼭 필요하게 될 것으로 전망된다.

2. 화약의 특성

에뮤라이트는 에멀전폭약이다. 그것은 오일과 왁스의 혼합물안에 조밀하게 채워진 질산암모늄 용액의 작은 물방울로 구성된다. 현미경을 통해서 본 구조는 벌집의 형태와 유사하다. 작은 물방울들을 분리하는 오일과 왁스 막의 두께는 1/10,000mm보다 작다.

이것은 연료, 즉 오일-왁스 그리고 산화계질산암모늄 사이에 많은 접촉영역을 부여한다. 결과도 매우 빠르고 완전한 폭약 연소가 얻어진다. 오일과 왁스막은 또한 질산암모늄의 모든 작은 방울을 보호하고, 폭약이 고도의 내수성을 가지

게 한다.

작은 유리구체들, 즉 마이크로구체들을 첨가함으로써 에멀전의 민감성은 달라질 수 있다. 직경이 1/10mm밖에 안되는 마이크로 구체들은 뇌관이나 기폭약의 충격파에 의해 충격을 받을 때 붕괴한다. 이 붕괴는 충격파를 강력하게 하고 에멀전의 신속한 폭약 연소가 시작되게 한다.

에뮤라이트-안전한 폭약(爆藥)

에뮤라이트는 폭약으로 분류된 원료를 내포하지 않으며, 제조의 최종단계에서만 그 자체가 폭약이 된다.

에뮤라이트는 마찰, 불 또는 기타 기계적 자극을 통한 우연한 기폭에 대해 둔감하다. 그러므로 이것은 어떤 상업용 폭약보다 제조와 취급이 안전하다.

3. 현재 일반적으로 사용하고 있는 폭약에 대한 설명

고성능 폭약의 개발은 안전성을 추구할 목적으로 다음과 같이 개발되어 왔다.

- \* 제1세대 : 다이나마이트, 니트로글리세린에 의해 예감성을 높였다.
- \* 제2세대 : 함수폭약, TNT, 질산 메틸아민 나이트 레이트(MAN)이나 그의 폭약 성분으로 예감성을 높인

\* 동아대학교 자원공학과 교수

### Slurry폭약

- \* 제3세대 : 에멀전폭약, 플라스틱이나 미세 유리구체에 의해 예감성을 높였다.

폭약에서 예감성은 제조공정에서 가장 중요한 작업이고, 제조뿐만 아니라 완제품 취급에서도 예감성은 중요한 영향을 미친다. 한 세기 동안 니트로글리세린에 기초를 둔 폭약들은 제조 중 많은 비참한 사고의 피해를 가져왔다.

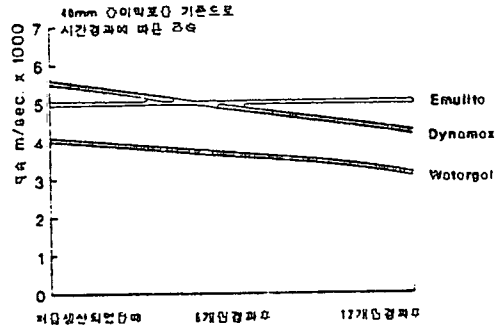
메틸아민 나이트레이트(MAN)의 제조와 수송은 예기치 않은 폭발을 야기시키는 요소가 있다는 것이 입증되었다. 미국의 Atles powder에 의해 발명된 이 함수폭약은 보다 안전한 제품으로 향한 진보로, 화약 역사에 있어서 처음으로 자체가 폭약이 아닌 물질을 예감제로 하는 에멀전 폭약이 등장하였으며 앞선 두 세대의 그것과 견줄만한 강도를 갖고 암석발파에 이용되고 있다.

### 3-1. 에멀전(Emulsion) 폭약

에멀전 폭약은 아주 작은 양의 질산암모늄 용액과 그 외 산화제로 구성되고, 미네랄오일과 왁스의 혼합물로 구성되어져 연속터막으로 분산된다. 오일과 왁스혼합물의 연료는 산화제인 질산암모늄 용액에 매우 큰 접합표면을 준다. 에멀전 폭약을 다른 액체와 플라스틱 폭약과 구별짓는 것은, 그 자체가 폭약인 예감제를 첨가하지 않고 폭발시킬 수 있도록 만드는 것이다. 에멀전을 기폭하기 위해서 기포가 약 1/10mm의 직경을 가진 미소구체의 형태로 섞인다. 뇌관에서 기폭되는 충격파의 영향아래서 이런 붕괴는 온도가 폭약의 빠른 폭발연소를 시작하기에 충분히 높게 많은 부분에 hot spots를 만들어 낸다.

폭약의 밀도와 기폭능력은 에멀전 내의 미소구체의 양으로 조절할 수 있다. 강도는 첨가되는 연료, 알루미늄의 양에 의해 조절된다. 더군다나, 여러가지 목적에 맞도록 경도를 다양화시키도록 조정되어진다. 이것은 주로 오일과 왁스의

비율에 의해 결정된다. 높은 퍼센트의 왁스는 마아가린 상이되고 오일이 더 많으면 윤활유 같은 상이되어 수송가능한 성질을 얻을 수 있다. 마아가린 같은 타입의 에멀전 폭약은 약포형의 폭약에 적당하다. 밀장전되는 특징이 탁월하여 발파공 부피를 거의 100%까지 이용할 수 있게 한다.



저장시간에 따른 폭속의 변화비교

에멀전 폭약의 물리적 성질과 성능 때문에 넓은 범위의 온도에 걸쳐 그 경도를 유지하고, 경화되거나 주입되는 성질은 실제로 -20℃에서 35℃까지는 변하지 않는다.

에멀전의 안정성을 다른 일반 폭약과 비교하면 뛰어나다. 보통 저장상태에서는 오랜 시간 저장해도 폭광능력은 그대로 보존된다.

폭발속도는 에멀전 폭약에서는 높지만, 직경이 줄어들거나 알루미늄이 첨가되면 다소 줄어들 수도 있다.

에멀전 내의 질산 암모늄용액 방울이 연료유와 왁스면에 완전히 둘러싸이는 사실 때문에 폭약은 물을 튕기게 되고, 따라서 내수성이 높아진다.

에멀전 폭약의 감도는 #8 뇌관강도 폭발장치에 의해 기폭되는 고성능 폭약에서부터 기폭에 뇌관을 요구하는 폭파제까지 다양하다.

취급의 안전성에서 보면 에멀전 폭약은 매우 안전하여 폭발에는 높은 충격이 필요하다.

### 3.2 에멀전 폭약제품

미소구제와 알루미늄의 혼합비를 변화시켜서 다양한 범위의 에멀전 폭약이 제조된다. 뇌관으로 기폭하는 Emulite 100과 150은 중간크기 직경의 발파공을 위해 고려한 것이고, 종이겹질과 플라스틱주머니로 제조·공급된다.

Emulite 폭약은 현재 두가지 종류로 생산되어지고 있다.

Emulite 100은 종이약포나 플라스틱 호스에 넣어져 제조되며 뇌관으로 기폭되는 에멀전 폭약이다. 그것은 양호한 후가스 특징과 내수성에 의해 어떠한 용도에도 적용할 수 있는 폭약이다. 이것은 또한 자동 장치에도 적합하다.

Emulite 100은 또한 프리스플리팅과 스무스 발파를 위해 20×500mm크기의 플라스틱 파이프에 넣어져 제조되기도 한다.

Emulite 150은 Emulite 100과 비슷하나 에너지 함유량을 증가시키기 위해 알루미늄을 첨가시켰다.

이것은 종이약포나 플라스틱호스, 플라스틱파이프로 생산되어지고 있다.

### 3-3 ANFO

ANFO는 세계에서 가장 널리 이용되는 일반 폭약이다. 그것은 폭파제로 간주되고, 전폭약에 의해 기폭되어야 한다. ANFO는 질산암모늄 가루와 연료유가 94 : 6의 비로 혼합된다.

ANFO를 기폭하는데 쓰이는 전폭약은 발파공 직경과 비슷한 직경을 갖고, 안정된 폭발을 가능케 하기에 충분히 긴 길이를 갖고 있는 것을 선택한다.

폭발속도가 2,000m/sec이하의 것은 안정된 것으로 간주되지 않는다.

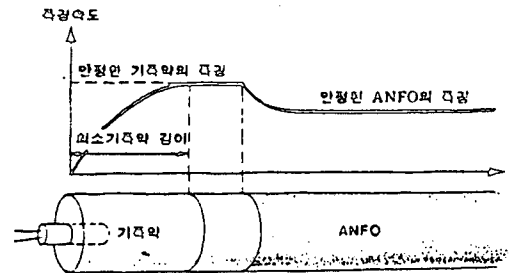
<sup>2</sup>SVEDEFO에 의해 실시되는 테스트는 Dynamex M 전폭약 약포를 사용해서 기폭시킬 때 ANFO폭속이 최고속도에 달한다는 것을 보여준다. Emulite 100을 전폭약으로해서도 같은 결과가 얻어질 것이고, 그 직경은 발파공 직경과

비슷한 것을 사용한다.

폭발속도는 발파공 직경에 따라 변하며, 250mm 발파공에서 4,400m/sec의 최고 속도에 이른다. 폭발속도는 발파공의 직경이 감소함에 따라 줄어들고, 직경이 25mm보다 작을 때, 폭발은 안정적이지 않을 것이다. ANFO는 건조상태에서 중간과 대구경발파공(75-250mm)에서 가장 적합하다. 그리고 ANFO는 소형이나 중간크기의 발파공(25-100mm)에서는 도폭선으로 기폭시키지 않으면 안된다.

도폭선은 ANFO를 직경방향으로 기폭할 것이고 ANFO는 안정된 폭속(2,000내지 4,400m/sec)에 이르지 못하므로 화학적 반응은 불완전할 것이다. 어떤 현장에서는 도폭선과 ANFO의 이용으로 스무스브라스팅에 도폭선과 ANFO를 사용해서 성공했다는 보고가 있다. ANFO는 내수성이 좋지 않으므로 발파공에 물이 있을 때는 비닐 등으로 방수하여야 한다. 폭발할 때 오렌지-브라운색 연기가 보이는 것은 물이 들어갔다는 증거이다. 그래서 더 좋은 방수제품을 이용하거나 플라스틱 주머니에 포장되어야 한다는 의미이다.

ANFO를 플라스틱 호스에 포장할 때 폭약은 더 작은 직경을 갖게 될 것이므로 굴착패턴의 설계에서 이를 고려해야 한다. 즉 공간격이 더 좁은 천공패턴이 필요하다.



폭발속도에 미치는 기폭의 영향

### 3-4 내수성 ANFO

앞에서 언급했듯이 ANFO에 관계되는 주요 문제 중 하나는 내수성이 약하다는 것이다.

Nitro Nobel은 AKVANOL이라는 상표로 내수성 ANFO를 개발하여, 시장에 내놓았다.

AKVANOL은 연료유로 혼합된 여러가지 타입의 AN으로 제조된다. 뿐만아니라 성분이 혼합되어 물과 접촉될 때 gel상태가 된다. AKVANOL의 내수성은 부풀리고 젤은 형성하는 농후제의 영향을 받는다. AKVANOL은 장전기로 발파공에 장전되어야 하며, 바닥에서부터 발파공을 채우기 시작해야 한다.

#### 4. 점화장비

William Bickford가 1831년 “광산안전 도화선”을 발명하기까지는 화약의 기폭은 위험한 작업이었다. 흑색화약을 기폭하는 데 여러가지 위험한 방법이 이용되었다. 안전한 도화선의 발명으로 발파자는 정확성과 신뢰성으로 흑색화약을 기폭할 수 있게 되었다. 1850년대에 니트로글리세린 1860년대에는 다이나마이트의 이용이 증가되어 도화선 단독으로는 새로운 폭약을 기폭시키지 못하므로 도화선을 뇌관으로 보강하는 것이 필요하게 되었다.

1867년 Alfred Nobel이 폭발제인 뇌홍뇌관을 발명하여 모든 폭약의 기폭을 더욱 안전하고 더욱 효율적으로 만들었다. 토목에서 사용되는 뇌관은 모두 Nobel의 기본적인 생각에서 개발되었다. 대규모 발파에서 비석, 파쇄업도 지반지동의 제어를 가능하게 하는 새로운 발파기술의 발파로 MS전기뇌관의 개발은 불가피하였다.

전기에 의한 기폭은 미국보다는 유럽에서 더 널리 받아들여졌고, 미국에서는 비전기식 점화방식이 더 흔히 이용된다. 최근에 새로운 비전기적 Milli-Second(MS)뇌관이 NONEL이 개발되어 널리 이용되고 있다.

그것의 단발기구는 전기뇌관과 같은 것이지만, 전기의 위험성은 전선을 플라스틱튜브로 대체함으로써 제거되었다.

점화방법은 두 가지 주요 그룹으로 양분된다.

- \* 비전기식 뇌관
  - 도화선과 공업뇌관
  - 도폭선
  - NONEL
- \* 전기뇌관

#### 4-1 점화방법

점화방법은 역사적 관점에 따라 도화선으로부터 시작하여 최근 가장 진보된 NONEL SYSTEM에 대해 기술한다.

#### 4-2 NONEL

Nonel의 발명으로 발파종사자들은 전기뇌관의 장점을 유지하면서 단점을 보완할 수 있는 뇌관을 오랫동안 기다렸다. Nonel은 어떤 전기적 위험에도 안전하므로 전기발파가 사용할 수 없고 허락도 되지 않는 곳에서도 이상적이다. Nonel뇌관은 전기적 지연뇌관으로서의 기능을 하지만 각선과 fusehead는 충격파가 전달되는 플라스틱 튜브로 대체된다. 플라스틱 튜브에서 나오는 충격파의 끝부분의 분출구는 뇌관의 연시약으로 점화된다.

외경이 3mm인 플라스틱 튜브는 얇은 반응물 질로 도장되어 있으며, 초당 약 2,000미터의 속도로 충격파를 전달한다. 플라스틱은 충격파에 영향을 받지 않으므로 폭약이 포설된 곳에서도 폭약을 기폭시키지 않는다.

두가지 NONEL시스템이 있다.

- \* NONEL GT
- \* NONEL UNIDET

#### 4-2-1 Nonel GT

Nonel GT의 시간 조절범위는 Millisecond, Decisecond, Halfsecond단차를 갖는다. Nonel GT/MS는 계단발파의 요건을 만족시키고 Decisecond, Halfsecond의 Nonel GT/T는 터널발파에 쓰인다.

#### Nonel GT/MS

#### 4-2-2 연결기 결선

오른쪽 그림에서 보는 연결기는 7개의 뇌관과

다음 연결기에서 들어오는 튜브들을 충분히 수 용한다.

노벨튜브(1)에 들어오는 충격파가 연결기 문 치(2)에 도달하면, 전달뇌관은 폭굉한다. 전달뇌 관의 폭굉은 뇌관에 연결된 튜브(3)들을 기폭하 여 다음 연결기(4)속의 뇌관을 기폭시켜 주며, 이러한 절차는 반복된다.

충격파는 노벨튜브를 통하여 2,000m/s의 속 도로 전파된다. 결과적으로 지연시간은 0.5ms/m 가 된다.

노벨로 발파시 결선할 때, 갱내발파에서 모든 뇌관은 암석이 움직이기 전에 기폭되어야 함을 기억해야 한다.

노벨발파는 계기(計器)로 점검할 수 없다. 그 래서 육안 점검을 용이하게 하기 위하여 순서적 으로 결선되도록 준비하는 것이 중요하다.

UBO는 발파공과 연결기 간의 길이를 가급적 짧게 유지하는데 도움을 받을 수 있다. 노벨튜브 가 너무 팽팽하게 당겨지지 않도록 확인하여야 하며, 특히 발파 매트를 사용할 때는 주의해야 한다. 너무 긴 튜브의 연결은 꼬이기도 하지만 너무 짧게 끊는 것도 좋지 않다.

A. 만일 튜브 길이가 짧으면, 두 줄로 연결문 치를 통과 시켜서 보통 매듭으로 묶어라. 짧은 튜브의 끝은 연결문치 뒷부분에 놓이게 된다. 연 결기는 개당 총 8개의 튜브를 결선할 수 있다.

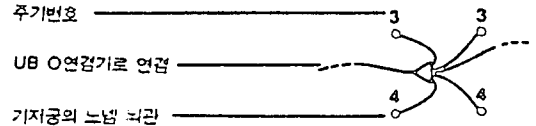
B. 만일 튜브길이가 길면, 연결기 용량을 다 사용할 필요는 없으며, 튜브를 적당하게 구부려 서 연결기 문치를 두 번 통과 시킨다. 그러면 구 부러진 원은 매듭이 되고 여유있는 튜브는 문치 의 앞부분에 놓인다. 이렇게 하면 연결기 문치는 4개의 튜브를 결선한다.

C. 간선과 연장선과 같은 튜브의 이상적인 길 이는 오른쪽과 같은 모양으로 결선할 것을 권장 한다. 튜브를 구부려 접어 연결기를 통하여 통과 시킨다. 튜브의 끝이 연결기 밖으로 나오면 접혀 진 원형에 끼워라. 튜브의 양끝을 당기면 빠지지 않도록 자체 잠금으로 결선된다.

## 5. 계단 발파의 결선

결선은 가능한 기폭순서를 따라야 한다. 만약, 어떤 이유로든 간선이 손상을 입으면, 컷오프 (Cut-off) 현상이 일어날 수 있다.

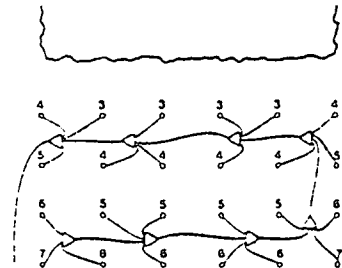
만약, 노벨시스템이 기폭순서에 따라 연결되 면 컷 오프(Cut-off)현상이 일어난 지점까지는 정상적으로 발파될 것이며, 나머지 부분에는 별 손상이 없을 것이다.



주 요 기 호

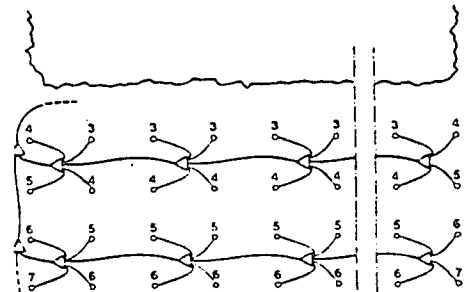
다음의 예는 노벨 GT/MS를 이용한 결선패턴 의 기본으로 사용할 수 있다.

### 소규모 Bench 발파



소규모 벤치 발파

### 대규모 Bench 발파

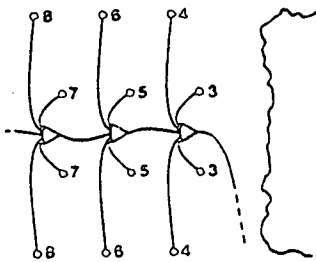


대규모 벤치 발파

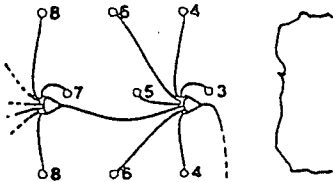
소규모 벤치 발파는 옆의 그림과 같이 지그재그 형태의 일렬로 연결된 예이다.

대규모 벤치 발파에서 모든 줄은 같은 방향으로 연결되어야 한다. 한개 간선이 줄들 사이의 최소표면 지연으로 가지선들을 기폭한다.

## 6. 트렌치 발파의 결선



가로 4공의 트렌치 발파



가로 3공의 트렌치 발파

4줄의 넓은 트렌치 발파는 아래 그림처럼 연결될 수 있다. 만일 트렌치가 가로 3공, 2줄로 노넬튜브를 연결하면 보다 편리할 것이며, 보통 연결기로 연결된다.

### \* 주의사항

- 연결은 항상 주된 기폭 순서 방향으로 이루어져야 한다.
- 발파공과 연결기 간의 튜브길이는 가능한 짧아야 한다.
- 특히 대발파에서 표면선의 본래 지연시간을 점검한다.

## Nonel GT/T

### 7. 터널발파에서 노넬 BUNCH 연결기와 결선

터널 발파에서 가장 쉬운 연결방법은 번치(Bunch)연결기를 사용하는 것이다. 번치 연결기는 UBO연결기에 포함된 2개의 "E코드"고리로 구성되어 있다. 표준튜브 길이는 6.0m이며 고객의 주문에 따라 4.8m길어도 준비될 수 있다.

노넬 번치 연결기는 연결점에만 소량의 도폭선을 사용하며, 기타 다른 도선은 부작용이 없는 노넬튜브를 사용한다.

일반적으로 노넬뇌관의 튜브 길이는 천공깊이보다 2m 더 길어야 한다. 노넬튜브는 번치당 최대 20개의 튜브 다발로 모아진다. 번호가 적힌 번호표 또는 번호 고리표는 절대 찢거나 떼지 말아야 한다.

번치, 즉 다발로 된 튜브는 아래 그림과 같이 절연 테이프로 약 30cm 간격으로 안전하고 확실하게 묶는다. 이 다발 튜브는 천공으로 부터 테이프가 감긴 첫 지점 사이를 끈게 당겨야 한다. 그런 다음, 각 튜브는 번치연결기를 통하게 하고 코드고리는 터널면에 있는 가장 가까운 테이프 묶음, 즉 테이프가 감긴 곳에서 부터 적어도 20cm 떨어진 곳에서 탄력있게 잡아당긴다. 그 연결기는 번치에서 상하로 미끄러지지 않게 확실하게 한다.

번치연결기의 노넬 튜브는 UBO, 스타터 또는 다른 번치 연결기들과 함께 모이게 하고 이 튜브는 그 터널 면에서 몇 m 떨어진 밑바닥에 연장하여 고정시킨다.

코드 고리와 노넬 튜브사이의 거리가 최소 20cm로, 그 지역에서 철수하기 전에 재확인 한다.

### \* 주의

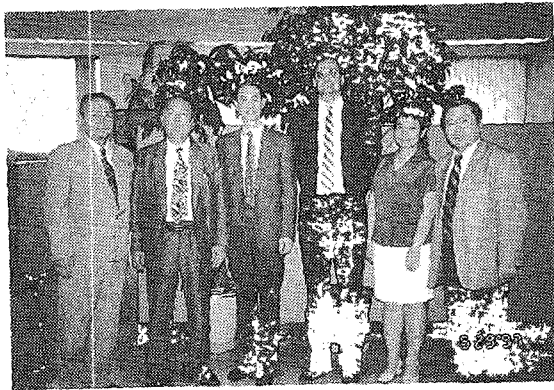
- 번치당 최고 20개의 노넬튜브를 사용할 수 있다.

- 모든 뇌관들이 제대로 연결되었는지 정확성을 재확인하고 번치들의 꼬리 끝부분에도 모든 튜브가 포함되어 있는지 확인 하 여라.
- 번치 연결기는 테이프로 묶어져 있는 곳에서 적어도 20m에 위치하게 하고, 코드 꼬리는 단단하고 정확하게 죄여라.
- 육안으로 통제, 관리 또는 조정하기 전에 들어오는 노벨튜브가 견고하게 연장되었는지 점검한다. 그러나 너무 뻣뻣하게 당겨지지 않게 한다.

## 8. 결 론

이상에서 살펴본 바와같이 건설공사의 발파작업에서 종래의 전기식 발파보다 간편성, 안전성 및 진동감쇄 효과 등에서 비전기식 NONEL 발파는 대단히 우수한 발파 SYSTEM이다. 따라서 이것이 본격적으로 정부 발주공사에서 건설 안전성 확보를 위해 도입될 경우 각종 화약류에 의한 재해예방을 사전에 막을 수 있을 뿐만 아니라 건설시장 개방을 앞둔 우리나라에도 선진 기술의 확보면에서도 비전기식(NONEL, EXEL)의 발파 방법은 필요하다고 사료된다.

中國 科學技術協會 國際部 Zhu Jin Ning 部長 미 선진科學協會  
太平洋擔當 理事 Michael G. Snyder 우리學會를 訪問하다.



5月 29日 위 두분의 우리學會 訪問을 맞아 許 煥會長, 全相伯 技術役과 相互關聯問題에 對해서 意見 交換할 수 있는 時間을 가지게 되었다.

이 분들의 訪韓目的是 첫째, 中國, 韓國, 日本 등의 技術者 資格制度의 實態調查와 資料를 수집하는데 있으며 둘째, 이를 基礎로 하여 將次 亞太科學技術協 議體(Asia-Pacific Science and Technology Organization)을 構想하는 必要한 資料를 수집하기 爲해서 우리나라 韓國科學技術團體總聯合會와 韓國技 術士會 그리고 우리學會를 찾은 것입니다.

中國의 技術者 資格 制度

『50年度의 우리나라 처럼 모든 것이 行政府에서 調查, 設計, 監理를 直接 施行했던 것을 開放化와 더불어 經濟開發推進으로 部分的이나마 市場經濟 추세에 따라 國營企業體를 新設代行하고 있다. 特히 建設 施工은 民間企業으로 轉換하고 있는 實情이다.

技術者の 資格은 中國科學技術協會가 主管하고 있으며 分類는 高級工程師(參與 Fellow) → 工程師(技術士) → 技術員(技師) → 技工(技能工)으로 되어 있다.

朱 國際 部長의 說明에 依하면 이번 旅行中 韓國, 日本, 美國 등의 技術者 資格制度 資料를 수집하고 있으며 中國式 技術士 資格制度를 準備하고 있다는 것이다』

끝으로 朱 部長의 說明이 지금 中國에서 進行中인 世紀的인 巨大工事로서 첫째, 三峽 DAM 工事 둘째, 南水地通 工事로서 이는 揚子江 물을 輿地砂漠地帶로 逆流시켜 綠地化하는 百年計劃工事라는 것이다. 此外 北京地下鐵 延長 工事等 産業視察次 訪問해 주도록 要請한 바 있으며 最近 開館된 바 있는 中國科技會堂은 5,000室의 Hotel Room이 있으며 宿所도 完備되어 있어 訪申時에는 不便이 없도록 配慮해 주겠다는 이야기다.