

## 發破에 의한 影響과 對策

橫濱國立大學 工學部 小川輝繁 教授

### 1. 序 言

發破는 가장 效率的이고 有效한 岩盤 掘鑿方法이나 嚴한 保安對策이 必要한 것, 振動, 音, 飛石 等の 發生에 의한 周邊 環境으로의 惡影響, 一般市民의 火藥 allergy 等 發破實施를 크게 制約하는 問題도 많다.

이 때문에 發破의 利用을 促進하기 위해서는 上記한 制約을 될 수 있는대로 제거하는 技術이나 啓蒙이 必要하다.

특히 解體發破에서 代表되는 것 같이 都市近郊 等 一般人들의 生活 area內에서의 工事에서 發破를 사용하고 싶은 case가 많이 있으나 이러한 경우에 容易하게 發破를 이용할 수 있는 環境을 整備하는 것이 要求되고 있다.

여기에서는 日本의 發破工事を 둘러싼 環境과 技術對應策을 簡單히 紹介하고 發破에 의한 周邊環境으로의 影響問題의 對處의 現狀과 今後의 課題에 대하여 敘述한다.

### 2. 日本에서의 發破工事を 둘러싼 環境과 技術的 對應策

#### 2-1 環境

##### (1) 雇用環境

近年 日本에서는 雇用環境은 크게 變化되어 있고 이것이 技術開發의 面에도 크게 影響되고

있다. 雇用環境의 變化의 主要한 것에 對하여 記述한다.

##### ① 產業構造의 變化

第3次產業이 急激히 發展되어온 것에 의해 第2次產業 就勞者의 比率이 低下하는 傾向이 되었다.

##### ② 젊은이의 意識의 變化

經濟成長에 의해 生活水準이 向上되고 失業率이 低下한 것에 의해 日本의 活力을 支持하고 있던 젊은이의 hungry 精神이 稀微해 졌다.

TV나 乘用車의 普及, Sport施設이나 文化施設의 充實 等에 의해 娛樂이나 趣味가 젊은이의 心中을 차지하고 있는 比率이 많아져서 젊은이의 價値觀이 多樣化 되어 왔고 職業에 사는 보람을 구하는 젊은이 즉 職業에 대하여 Pro 意識을 갖는자가 적어지고 있다.

##### ③ 雇用體制의 變化

日本의 雇用制度는 終身雇傭性和 會社에 대한 忠誠心을 基礎로 하여 왔으나 最近에는 젊은이의 價値觀의 多樣化나 사람의 手이 不足한 것 等에 의해 젊은 從業員의 轉職이 增加하고 定職을 갖지않고 職業을 이리저리 바꾸는 free 아르바이터라고 부르는 젊은이가 增加하고 있다.

또한 雇用者의 立場에는 人件費의 高騰에 對處하기 위하여 單純作業은 free 아르바이터나 主婦의 part-timer 等の 臨時職員에 依存하게 되었다.

#### ④ 勤勞環境의 整備

生活環境의 向上, 個人的 權利尊重에 대한 社會的 認識의 向上 等에 의해 勞動環境의 整備· 向上이 強하게 要求되게 되었다. 從來의 勞動環境의 整備는 勞動安全의 確保나 勞動衛生에 대하여 整備하는 것이 있으나 最近의 思考方式에서는 이것만으로는 不充分하고 快適한 勞動環境을 만드는 일이 要求되고 있다.

#### ⑤ 熟練者의 不足

從來 日本의 工業의 發展은 熟練된 勞動者의 技術도 하나의 큰 役割을 하고 있었다. 그러나 技術의 進歩가 빠르고 system이 複雜化 되고 덧붙여서 勞動者의 意識이 變化(pro意識의 缺如 等)하고 있는 지금은 熟練者가 不足하여 human error의 問題가 커져 있다.

#### (2) 發破現場 周邊環境

發破는 爆藥의 強力한 energy를 瞬間的으로 放出하여 岩盤 等の 破碎를 行하기 때문에 乘余의 energy가 發破振動, 發破音, 飛石, 土煙 等の 形으로 周邊環境에 惡影響을 미친다. 이때문에 發破工事는 周邊의 既存 構造物 等に 損害를 주지 않도록 注意깊게 實施되어 왔다.

그러나 近年에는 環境問題의 高揚과 住民의 權利의 保護의 觀點에서 建物の 損傷과 같은 確實한 損害만이 아니라 住民에게 不快感을 주지 않도록 하는 mental로 主觀的인 問題에 대해서도 配慮하는 것이 要求되게 되었다.

日本에서는 이것에 火藥 allergy가 強한 것도 겹쳐서 發破作業이 큰 障壁이 되는 일도 많다.

#### (3) 發破技術評價의 環境

發破技術은 鑛山學中的 採鑛學의 一部로서 學文的으로는 體型이 붙여져 왔다. 그러나 鑛產業이 衰退한 現在 發破作業의 主流는 建設業과 石灰石鑛業으로 옮겨졌다.

建設業에서의 發破作業은 下請하는 發破專門 會社에 委託하는 case가 많다. 이 結果建設業界에 있어서 發破技術의 評價가 낮게 位置 分여지는 傾向이 보여져 發破技術의 發展에 障害가 되고 있다.

今後는 高度의 發破技術이 要求된다고 생각

되므로 建設業界에 있어서 發破技術의 評價를 높여갈 必要가 있다.

#### (4) 發破의 Hitech 環境

最近 IC雷管, 非電氣式 發破 system, 遠隔 起爆 system, 醫療用 發破 system 等 發破用 化工品의 hitech化가 進行되고 있다.

또한 宇宙開發 또는 missile 等 軍事開發技術에 의하여 開發된 化工品類나 system의 一部가 發破技術에 應用되는 것도 있고 發破技術의 高度化의 環境이 整備되고 있다.

#### (5) 發破 關聯機械設備의 大型化

古典的인 發破工學에는 發破한 岩石은 될 수 있는대로 잘게 破碎되어 있고 더구나 破碎岩의 飛散範圍를 될 수 있는대로 좁게 하도록 目標로 하고 있었다.

이것은 버럭치리를 效率的으로 行하기 위하여서이고 古典的인 思考方式은 좁은 坑內에서 稼動하고 있는 小型의 버럭處理機械를 念頭에 두고 構成되었던 것이다.

그러나 近年에 坑外發破에서는 大型의 強力한 버럭處理機械가 使用되게 되어 岩盤이 반드시 破碎되어 있지 않아도 어느정도의 크기의 龜裂이 생기면 over burden發破나 發破影響을 적게 하기 위한 弱裝藥發破 等이 試驗되게 되었다.

## 2-2. 技術的 對應策

(1) 自動化 Robot化와 合理化 發破關聯業界의 最近의 일손 不足과 勞動環境改善 要求의 問題를 解決하는 하나의 手段은 自動化나 Robot化에 의한 合理化이다.

日本에서는 建設作業의 自動化나 Robot化의 檢討가 始作되었을 뿐이나 이 一環으로서 發破作業의 自動化의 檢討가 始作되었다.

發破를 實施하는 場所는 鑛山이나 建設現場과 같이 危險한 作業, 힘이 드는 일이 많고 太半은 屋外作業으로서 作業環境이 나쁜것 等 問題가 많다.

그러나 現在는 機械化가 進行되어 重勞動이나 危險한 일은 大幅的으로 減少되었으나 아직 充分하다고는 할 수 없다.

또한 作業場所가 固定되어 있지 않기 때문에 勞動環境의 改善이 困難한 것 등 어려운 問題를 안고 있다.

將來는 自動化나 Robot化를 進行시켜 勞動環境이 나쁜 屋外作業을 危險作業이 하나도 없게 하는 努力이 必要하다.

(2) 作業의 安全化, 勞動環境 改善에 必要한 技術開發

日本에서는 發破作業과 같은 建設現場이나 製造現場의 일을 담당하고 (Kitsui), 더럽고 (Kitanai), 危險(Kiken)한 現場이란 意味로서 이들의 日本語를 alphavet로 表記한 頭文字로부터 3K 職場이라고 부르고 젊은층이 敬遠하는 일로 되어있다.

이 때문에 職場環境의 改善이 緊急을 要하는 課題로 되어 있다. 現在는 宿舍의 施設이나 食事 등 食住環境의 改善 이 行해지고 있으나 今後는 肉體勞動을 없게하고 危險성이 있는 일이나 健康을 해치는 일을 全無하게 하는 것은 勿論, 職場의 溫濕環境, 視環境 등의 改善을 行하여 快適한 職場이 되도록 技術開發의 努力이 要求되고 있다.

(3) 發破振動, 音, 低周波音의 豫測方法의 開發

發破에 의한 周邊環境의 影響으로서 問題가 되는 것은 地盤振動, 發破音(可聽音)이나 最近에는 可聽이 아닌 低周波音이 사람에게 不快感을 준다고 하여 問題視 되게 되었다.

그래서 發破作業을 實施하기전에 이들의 影響을 豫測하여 必要하면 影響防止의 對策을 取하지 않으면 안된다.

發破振動의 豫測方法에 대해서는 많은 研究成果가 發表되어 있으나 實用的으로 充分한 方法이 確立되어 있다고는 하기 어렵다.

發破音이나 低周波音에 대해서는 이것보다 훨씬 研究가 늦어져 있다. 그래서 이들의 實用的인 豫測方法의 確立이 課題로 되어 있다.

(4) 發破振動, 音 및 低周波音에 의한 被害나 體感의 體系化

發破에 의한 影響問題에 對處하기 위해서는

發破振動 등의 크기나 特性과 被害의 關係를 確實히 해둘 必要가 있다.

發破에 의한 周邊의 影響問題를 建物 등의 일부가 破損한다고 하는 눈에 보이는 確實한 被害와 사람이나 動物에의 心理的인 影響이 있다. 被害의 評價는 前者에 대해서는 容易하나 後者는 어렵다.

發破振動 또는 暴風에 의한 構造物의 損傷에 대하여는 構造物의 構造特性, 形狀, 耐震特性等 構造物側의 諸因子에 左右되고 單純한 形으로 表示하는 것은 困難하나 이들의 體系化를 進行시킬 必要가 있다. 또한 發破에 의한 心理的인 影響을 判斷할 基準의 確立도 重要한 課題이다.

(5) 周邊으로의 影響의 輕減技術의 開發

發破振動, 音, 低周波音 등의 周邊으로의 影響을 적게할 發破技術을 開發하는 것이 技術的인 對應策의 重要課題이다.

(6) 發破技術의 學文的 體系化

發破의 技術的인 體系는 極히 高度한 技術水準이 要求됨에도 不拘하고 前述한바와 같이 建設關係의 分野에서의 技術評價는 반드시 充分한 것은 아니다.

이것은 發破技術者의 意慾을 죽이는 것이고 發破技術의 社會的인 評價를 높이는 것은 重要한 課題이다. 이를 위해서는 發破技術의 學文的인 價値를 높일 必要가 있고 다시 學文的인 體系化를 促進할 必要가 있다.

(7) 發破의 Hitech技術의 開發

Hitech 技術을 發破에 應用하는 것에 의해 高附加價値의 發破를 模索하는 것이 發破技術의 活性化를 促進하고 技術의 評價를 높이는 것에 連結된다.

(8) 發破技術의 應用分野의 開拓

優秀한 Energy원인 火藥類가 갖는 性能을 有效하게 利用하기 위하여 發破技術의 應用分野가 다시 넓히기 위한 研究가 要望된다.

現在는 解體發破나 醫療發破에 代表되는 것 같은 高精度 制御發破技術의 開發이 큰 데마이다.

### 3. 發破와 被害

3-1. 地震動에 의한 影響을 評價하기 위하여 單純化된 model

#### (1) 地震力 model

簡便한 耐震設計로 使用되는 model로서 水平 振動의 變位加速度와 質量의 積을 地震力으로서 作用시켜 耐震性을 解析하는 model이다.

이 model을 使用하면 地震動에 의한 影響은 變位加速度가 相關關係가 있다.

(2) 質點-spring系 model 構造物을 質點-spring系로 model化하여 振動應答를 解析하면 地震動의 周波數가 構造物의 固有周波數에 비해 상당히 크면 變形에 比例한다.

이 경우의 地震에 의한 被害는 正의 變位振幅과 相關이 있다. 한편 逆인 경우는 構造物全體가 地震動과 거의 同게 運動하므로 影響의 評價는 地震力 model을 適用할 수 있다.

#### (3) 不等變位 model

地震動의 變位速度  $V$ 와 그의 電波速度  $C$ 의 比  $V/C$ 를 剪斷角이라고 부르고 地盤의 剪斷變形가 比例한다. 이 剪斷變形에 의해 構造物의 基礎地盤은 不等變位가 생겨 構造物에 變形에 준다.

構造物의 變形은 地盤의 剪斷變形과 比例 또는 正의 相關이 있다고 생각된다.

그래서 이 model을 適用하면 地震動의 電波速度가 거의 一定하다고 한 경우 構造物의 被害는 地震動의 變位速度振幅과 正의 相關關係가 있는 것이 된다. 그러나 振動의 波長이 構造物의 基礎의 크기에 비해 充分히 큰 경우나 構造物의 基礎의 剛性이 큰 경우는 地盤의 剪斷變形의 影響은 無視할 수 있다.

### 3-2. 建物 等の 破壞나 龜裂

그림-1, 그림-2는 sweden 또는 美國에서 整理되어 發破振動에 의한 影響을 評價하기 위한 그림이다.

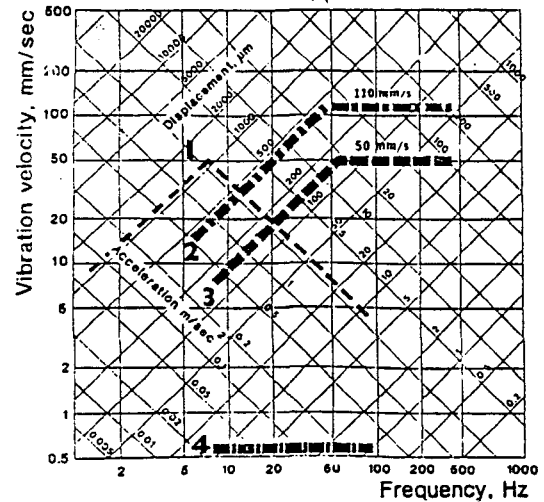
이것으로부터 明白한 것과 같이 發破振動에 의한 建物의 被害는 周波數가 수십Hz以上의 地

盤振動에서는 變位速度와 被害 level에 相關關係가 보이고 십~수십Hz의 地盤振動의 경우 被害 level은 最大變位에 依存하고 있는 關係가 보인다.

이것으로부터 建物被害와 수십Hz이상인 地盤振動과의 關係는 不等變位 model, 십~수십Hz의 地盤振動과의 關係는 固有周波數가 낮은 質點-spring系 model을 適用할 수 있다고 생각된다.

3-3. Computer, 回轉機械, 電子顯微鏡, 原子力設備 等 剛性이 강한 基礎나 建物에 設置된 機械類 固有周波數가 높은 質點-spring系 model을 適用할 수 있고 一般的으로는 變位加速度로 規制된다.

### 3-4. 人體感覺



Criteria for damage and recommendations :  
 Curve 1 : Recommended upper limit for IBM computers with a duration of vibration less than 5 sec.  
 Curve 2 : Direct damage from vibrations to buildings during blasting.  
 Curve 3 : Recommended upper limit for blasting.  
 Curve 4 : Vibrations disturbing to human beings.  
 S.O. olofssou : "Applied Explosives Technology", Nora Boktryckeri (1991)에서

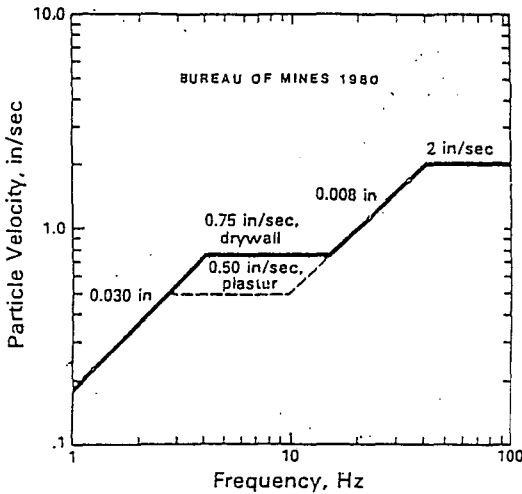


그림-2 Safe Levels of Blasting Vibration for Houses Using a Combination of Velocity and Displacement (vs Bureau of Mines Report RI8507 (1980))에서

一般的인 發破振動의 周波數領域에서는 變位速度와 比較的 좋은 相關이 있는 公害振動 level로 規制되는 일이 많다.

#### 4. 發破振動의 크기나 周波數를 左右하는 要因

##### 4-1. 振動의 크기를 決定하는 要因

主要한 것

齊發藥量, 發破點으로부터의 距離

一般的으로 振動의 크기는 다음식으로 表示된다.

$$V = C \cdot Q^n \cdot R^m$$

V : 振動의 크기

Q : 齊發藥量

R : 發破點으로부터의 距離

C, n, m : 定數

上式의 C, n, m은 다음과 같은 因子에 影響된다.

發破對象岩의 種類, 觀測點의 表土層의 特性이나 두께, 波動電波經路의 地質, 發破의 種類, 發破效果, Tunnel發破의 경우의 심빼기 發破의 方法等.

이들 因子의 影響度에 대해서는 充分히 되어 있지 않으므로 多變量解析이나 比例 Hazard model 等に 의한 影響因子 解析이 試驗되고 있다.

日本에서 잘 使用되고 있는 振動 豫測式을 紹介한다.

畑中

$$U = 4 \times 10^4 \cdot K \cdot L^{2/3} \cdot d^{-2.0}, \quad 15m < d < 250m$$

$$U = 4 \times 10^2 \cdot K \cdot L^{2/3} \cdot d^{-1.2}, \quad 250m < d < 1500m$$

但, K는 測定點의 地盤에 의한 係數로서 表土層의 狀況에 따라 다음의 값을 取한다.

表土層이 波長에 비해 두꺼운 경우 : K=7.0

表土層이 波長에 비해 얇은 경우 : K=2.5

表土層이 없는 경우 : K=1.0

U.S. Bureau of Mines

$$U = 30.1 \cdot k \cdot (e^{-0.00400d} + 0.0143) \cdot L^{2/3}$$

$$152m < d < 1,829m,$$

$$454kg < L < 4,536kg$$

旭化成 工業(株)

$$V = K \cdot L^{2/3} \cdot d^n$$

$$30m < d < 1,500m, \quad 10kg < L < 3,000kg$$

심빼기發破의 경우 : K=500~1,000

Bench發破의 경우 : K=200~500

또한 n의 값은

發破地點이 粘土層인 경우 : n=2.5~3.0

發破地點이 岩盤인 경우 : n=2.0

日本火藥(株)

$$V = K \cdot L^{2/3} \cdot d^2$$

$$5m < d < 3,000m, \quad 0.2kg < L < 4,000kg$$

坑道掘進의 심빼기 發破의 경우

:  $K=450\sim 900$

坑道掘進의 補助, 擴大, 天盤發破 等の 경우

:  $K=200\sim 500$

坑道掘進의 Foot holes 發破의 경우

:  $K=300\sim 700$

大口徑 Bench 發破의 경우 :

:  $K=100\sim 300$

盤打, 弛緩發破 等の 경우 :

:  $K=300\sim 2,000$

#### 4-2. 振動周波數에 대한 影響要因

前述한바와 같이 發破振動에 의한 影響을 評價할 경우 振幅만이 아니라 周波數도 고려하지 않으면 안된다.

發破振動 周波數에 影響되는 因子로는 다음과 같은 것이 있다.

藥量, 1發破 領域의 크기, 發破點으로부터의 距離, 觀測點의 表土層의 特性과 두께, 發破 對象岩의 種類 等

### 5. 發破 影響問題에 대한 技術的 對應

#### 5-1. Assessment

發破에 의한 影響에 대하여 事前에 Assessment를 行하고 問題가 있을 경우에는 必要한 對策을 실시하는 것이 重要하다.

一般的으로 行하여지고 있는 Assessment는 從來의 data로 부터의 豫測式의 推定.

試驗發破의 結果로부터 振動豫測式의 導出 等이나 今後에는 統計的인 方法을 使用하고 risk를 算出하는 手法의 開發이 要望된다.

#### 5-2. 管理值, 規制值의 設定

管理值나 規制值를 設定하고 發破에 의하여 생기는 地震動, 騒音, 低周波音이 이들 값을 넘지 않도록 藥量制限이나 影響輕減 對策을 實施한다. 또한 發破工事中에는 monitor로 監視하고 管理值나 規制值를 넘지 않는 것을 確認한

다.

日本에서의 管理值, 規制值의 設定의 現狀에 대하여는 參考資料를 參照하시기 바란다.

#### 5-3. 發破影響 輕減方法

##### (1) 藥量의 低減

##### 藥量 制限

가장 一般的으로 實施되는 初步的인 方法이나 工事의 效率이 나쁘게 되고 一般的으로는 工事費, 工期의 上昇을 隨伴하다.

多段發 發破에 의한 齊發藥量의 減少

齊發藥量이 적어지므로 振動이나 騒音의 振幅은 작아지나 이들의 繼續時間이 길어진다. 段差秒時에 대하여는 發破에 의한 岩石의 發破 效果도 包含하여 綜合的으로 檢討하여 決定된다.

##### 弱裝藥發破(機械掘鑿과의 併用)

最近에는 大型으로 強力한 掘鑿·積載機械가 開發되어 있다. 이와같은 建設機械를 使用하면 發破에 의해 岩石이 充分히 破碎되어 있지 않아도 버럭處理를 할 수 있다.

이 때문에 發破는 岩盤을 弛緩만 시키고 機械의 힘으로 掘鑿하는 工法도 可能하다. 이 工法을 採用하면 使用爆藥量이 적어도 되므로 藥量이 적어도 되므로 藥量을 低減할 수 있으나 大塊의 버럭이 생긴다.

##### (2) 破碎面을 만들

地震動의 電波經路를 發破帶 또는 溝를 만들어 波動의 傳播를 阻止하여 振動影響을 輕減하는 思考方式이 있다.

具體的으로는 Presplitting, slot를 만드는 것 등이 行해지고 있다.

이 方法은 發破部의 아주 가까운곳의 保安物件에 대하여는 效果的이고 이들의 破碎帶나 溝는 發破部의 아주 가까운 곳에 設置하지 않으면 效果는 없다.

##### (3) 拘束度의 緩和

發破部 周邊의 岩盤이 이미 弛緩되어 拘束度가 緩和되어 있으면 緩衝效果에 의해 若干 發破 振動이 低減되는 것이 報告되어 있다.

#### (4) 波動的 干涉의 利用

振動波形的 2개의 波動的 山과 골짜기를 겹치면 振幅은 매우 작아진다. 그래서 保安物件의 位置에서의 發破振動的 超越週期の 1/2의 時間差로 斷發發破를 行하면 振動的 振幅을 低減할 수 있다.

一般的인 段發雷管은 遲延秒時의 程度가 나쁘므로 從來는 波動的 干涉에 의한 振動輕減을 할 수 없었다.

그러나 最近 遲延秒時 程度가 極히 높은 IC雷

管이 開發되었으므로 이 方法의 檢討가 活潑히 行해지게 되었다.

#### (5) 飛散物 防止 材料

建物解體나 保安物件과의 아주 가까운 곳의 發破에서는 飛散物에 의한 災害防止가 重要課題이다.

一般的으로는 發破 pattern의 研究와 飛散防止用 Blasting mat, Blasting net 등으로 防護措置를 行하고 있다.

---

## 發破解體技術의 基礎

通商産業省 工業技術院  
資源環境技術綜合研究所  
安全工學部 破壞工學研究室  
工博 勝山 邦久 室長

---

### 1. 序 言

近年 都市部에서의 再開發에 따라 高度經濟 成長期에 建立된 建築物의 解體處分이 重要하게 되어 있다. 從來의 解體重機를 使用하는 解體工法에서는 解體重機의 繼續使用에 따른 振動, 騒音 等の 公害問題의 發生, 解體工期의 長期化, 解體重機에 隨伴하는 事故의 發生等의 問題가 指摘되고 있다. 이것에 대해 發破解體는 工期의 短縮化, 解體重機에 의한 公害問題의 解決 等の 利點이 많다. 그러나 都市部에서 爆藥類를 使用하기 때문에 周邊環境의 影響을 充分히 考慮한 制御發破法이 必要하다. 또한 取扱을 잘못하지 않으면 爆藥自體는 매우 安全하고 값이 싸다. 이 때문에 爆藥類의 有效利用이 檢討되고 있고 發破에 의한 解體實驗이 實施되고 있다.

今回에는 都市部에서 爆藥을 使用하기 위하여 飛石, 振動, 騒音을 減少시키고 더구나 破壞는 希望하는대로 破壞시키는 精密한 발파기를 開發하고 精密雷管과 雷管內部的 電橋線의 爆發現象이나 殉爆狀態, 철골을 切斷하는 成形爆藥의 爆轟狀態 等の 高速度 Camera에 의한 寫眞이나 아직 充分히 解決되어 있지 않은 爆破의 動的 現象의 하나인 Hopkinson 효과를 들고 이것에 의한 破壞現象을 實驗的, 理論的으로 檢討한 結果를 表示한다.

### 2. 精密기폭기

試作한 精密기폭기는 制御部·出力部·電源部로 되어 있고 出力部에는 獨立된 5 Channel의 기폭회로가 있고 制御部에서의 기폭신호로 기폭한다. 制御部에서 각각의 回路를 1μs에서