

Tectonic Stress 에 대한 이야기

黃 正 奎*

1. 머리말

한가지 일에 오랫동안 從事하다 보면 그分野의 專門知識이 雜多하게 쌓이게 마련이지만 이러한 지식은 傳統的인 學問의 體系와는 다른 自己流의 형태로 잔적된 것이 많다. 筆者가 土木地質學이나 岩盤力學에 대하여 아무 知識이 없이 20여년간 종사한 댐과 터널工事 등에서 관심을 갖고 주어모은 岩盤에 대한 잡다한 見聞의 片鱗들도 따지고 보면 이런 따위에 불과한 것들인데, 그 중에서 특히 우리나라의 土木技術者들이 소홀히 다루기 쉬운 Tectonic Stress 에 관하여 간추려 보았다.

淺學인 필자의 하찮은 경험으로 이러한 업무를 내게 된 것은 學識과 經綸을 겸비한 先輩·同僚 諸賢들의 보다 값진 견문을 많이 듣고 싶다는 바람에서 나온 것이니 本 學會誌를 통한 많은 發表가 있으시기를 기대해 본다.

2. Tectonic Stress

Tectonic Stress란 댐 또는 重要 構造物의 基礎岩盤處理, 岩石地下空洞의 支保 및 大斷面 岩盤掘鑿斜면의 安定 등을 다룰 때에 尙 疑의되는 地殼構造上的 應力을 말한다.

우리나라는 地球造山帶에서 살짝 비켜서 位置하고 있으므로 심각한 상태는 아니지만(그림 1) 環太平洋造山帶 및 Alpine-Himalaya 造山帶에서는 上述한 建設工事는 물론 地震 및 大斷層의 移動·發達 등을 豫測하는 주요한 단서가 된다. 現今 우리의 建設進出 對象國인 東南亞, 中東 諸國은 이들 造山帶 중에서도 地震 多發地域에 속하므로 주의를 요한다.



그림 1. 地球의 造山帶

그러나 岩盤 내부의 Tectonic Stress 를 實測할 수 있게 된 것은 근래의 일로서 N.Hast(1958)¹⁾가 試圖한 것이 처음이며, 오늘날에 와서는 試錐孔에 變形計(Borehole Deformation Gage)를 삽입하는 방법 등으로 간단히 測定할 수 있다. 일반적으로 岩盤의 橫壓力은 그 上載荷重단의 函數로 가정하여 彈性理論으로 解析한다. 즉 地球中心 方向의 主應力은, 岩盤의 密度를 ρ , 重

* 正會員·弘益大學校 工科大學 土木工學科 助教授

力加速度를 g , 깊이를 h 라 하면,

$$\sigma_3 = \rho \cdot g \cdot h$$

이므로 水方向의 主應力은 그 Poisson 比가 ν 일 때에,

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \frac{\nu}{1-\nu} \cdot \sigma_3$$

가 되며, 岩石의 Poisson 比의 범위는 대략 0.3 (輝綠岩 등)~0.1(片岩 등)이므로 그 橫壓力은 대략 $\sigma_1 = \sigma_2 = (0.1 \sim 0.5)\sigma_3$ 에 불과한 값이 된다. 그러나 에컨대 Australia의 東南部에 위치한 Snowy Mountain 地下 發電所 空洞에서는 橫壓力이 鉛直壓力의 1.2배 이상의 값이 측정되었다는 報告²⁾가 있으므로, 이 때의 Tectonic Stress의 값은 上載荷重의 重力만큼이나 엄청나게 큰 것임을 알 수 있다. 그리고 최근 참혹한 피해를 입은 Mexico 地震이 있는 직후에 美國에서는 California 州의 中央을 南南東으로 穿斷하는 San Andreas 斷層의 Tectonic Stress를 측정된 값으로 尙래 30년간에 일어날 수 있는 이 地域의 地震 發生強度 및 確率을 豫測한 것을 발표³⁾하였다. (그림 2)

그러면 이러한 應力은 어떻게 생기며 그 結果가 무엇인지 살펴보기로 하자.

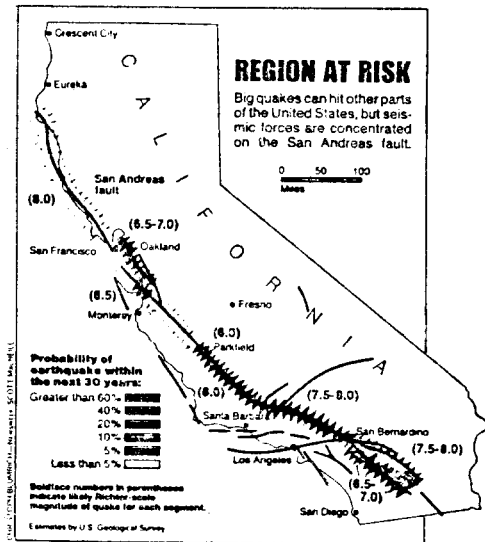


그림 2. San Andreas 斷層의 地震發生豫測

3. 大陸 移動說(The Theory of Continental Drift)

독일의 氣象學者이며 地球物理學者인 Alfred Wegener 은 1910年, 世界地圖를 검토하고 있던 중 우연히도 大西洋 海岸의 兩岸 즉 Africa 大陸의 西海岸線과 南 America 大陸의 東海岸線이 이상할 정도로 잘 合致된다는 사실에 착안하고, 그 후 수많은 資料를 蒐集하여 1912年에 “大陸의 起源”이라는 著書를 出版하였다.

그 줄거리를 요약하면, 二疊紀 및 石炭紀에 걸친 上部古生代까지는 地球上의 全大陸이 지금의 Africa 大陸을 中心으로 한덩이로 形成되어 (그림 3) 있었던 것이 中生代와 第三紀에 걸쳐 America, Eurasia, Australia 大陸의 順으로 Africa 大陸으로부터 떨어져 나가 서서히 西進하면서 赤道를 향하여 移動하였고, 그런 가운데에서도 Africa 大陸은 현재의 위치에서 한자리에 거의 固定되어 있었으며, 南極의 위치는 이리저리 移動⁴⁾(그림 4)하면서 오늘에 이르렀다는 것이다.

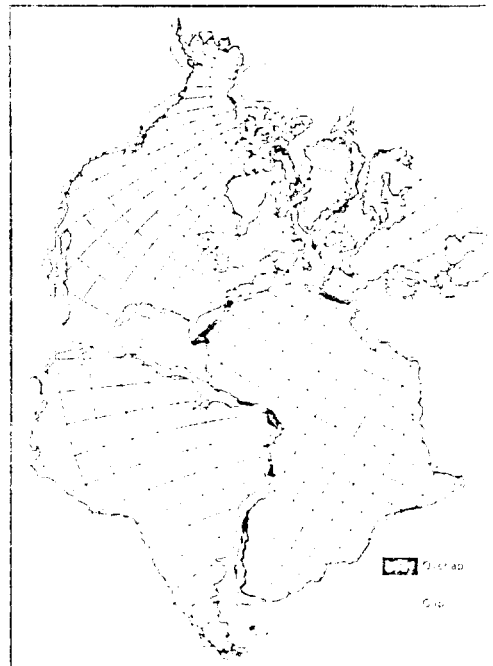


그림 3. 古世代의 大陸

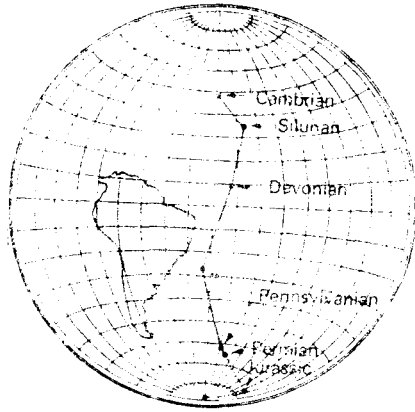


그림 4. 南極移動軌跡 및 地質年代

Eras	Periods	Beginning of periods (my)
QUATERNARY	Recent	0.01
	Pleistocene	1.5-2.0
TERTIARY	Pliocene	7
	Miocene	26
	Oligocene	38
	Eocene	54
MESOZOIC	Palaeocene	65
	Cretaceous	136
	Jurassic	190-195
PALAEOZOIC	Triassic	225
	Permian	280
	Carboniferous	345
	Devonian	395
	Silurian	430-440
	Ordovician	500
PRECAMBRIAN	Cambrian	570
	oldest known rock	3400

이러한 大陸移動의 原動力은 地球의 自轉에 의한 遠心力, 太陽과 달에 의한 潮汐力 및 地球의 歲差運動(팽이가 빠른 速度로 회전할 때에 그 軸머리가 천천히 圓을 그리면서 또다른 하나의 回轉軸을 그리듯이 地軸이 自轉하면서 오랜 세월을 두고 그 軸머리가 圓運動을 하므로 北極은 결코 同一北方點이 아니며 이 週期는 約 25,000年이라 한다.) 등이라고 說破하였으나 그 결과는 많은 反對論者에 부딪혀 Wegener은 또다시 1928年 『大陸과 海洋의 起源』에서 그 論據를 바꾸어서 現今의 有力한 學說인 地殼對流說(The Theory of Mantle Convection)과 흡사한 論調로 기울기 시작하였다.

그 후 1950년까지는 여러 學者들에 의하여 論證資料의 수집과 더불어 論爭이 거듭되다가 1950~1960年頃에는 古地磁氣學(Palaeomagnetism)의 分野에서 北極의 移動經路가 증명됨에 따라 大陸移動說은 새롭게 脚光을 받게 되었고, 1963年을 전후하여 提唱된 H.H. Hess(1962, 1964, 1965) 및 R.S. Dietz(1961) 등의 海洋底面擴大說⁴⁾(The Theory of Ocean-Floor Spreading)은 수년 사이에 地球物理學界를 席捲할 기세로 발전하여 大陸移動, 造山作用, 地震發生 및 地球表面의 多様な 變動을 합리적으로 설명하는데 成功하여 오늘날에도 활발한 발전을 계속하고 있다.

4. Plate Tectonics의 Mechanism

(1) 海洋底面擴大說

大陸移動說의 발전 과정에서 그 初期段階(1915~1940年)에는 大陸移動의 Mechanism은 대략 다음과 같은 줄거리였다.

地球의 中核은 鐵과 Nickel을 主成分으로 하여 Nife層을, Mantle은 Silica와 Magnesium으로서 Sial層을, 地殼은 Silica와 Aluminium으로 Sial層을 각각 구성하고 있어(그림 5) 순차적으로 그 密度가 작아지고 冷却 固結된 岩盤層이며, Mantle은 中核 Magma의 영향으로 粘性流體(約 3,000°C)와 같이 舉動하여 그 위에 얹혀 있는 大陸塊를 형성하는 Sial층이 어떤 持續的인 慣性力을 받으면 쉽게 移動이 가능할 것이며, 여기에다 地球 自轉에 의한 遠心力은 兩極으로 부터 赤道방향과 西方向에 持續的인 慣性力으로 작용하고, 太陽과 달의 引力때문에 생기는 潮汐移動은 地殼表面에 西方向으로 摩擦力을 일으키므로 大陸은 서서히 赤道方向과 西方向의 合力方向으로 移動한다는 것이다.⁵⁾ 그러나 反對論者들은 大陸이 바다에서 氷山이 漂流하듯 移動한다면 그 움직임은 地殼의 境界(아마 Moho 不連續線)에서는 粘性結合을 통한 抵抗力이 너무나 엄청난 힘이기 때문에 위에서 말한

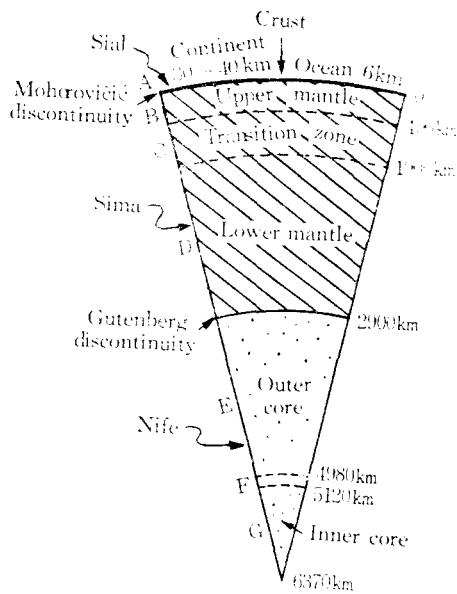


그림 5. 地球의 斷面

慣性力으로는 說明을 合理化시킬 수 없다는 것이었다.

이러한 背景에서 1960年初에 제창된 海洋底面 擴大說에 의하면, 上部 Mantle 은 半流動體로서 Magma 의 高熱에 의하여 地殼의 底部에서 느리게 對流한다는 假說을 前提로 하고 있어 매우 注意를 끌게 되었다.

이러하면 完全 飽和狀態의 岩塊가 高壓(岩石의 壓縮強度보다 큰 壓力) 및 高溫(500°C 이상) 하에서는 半流動體로 舉動한다고 한다. 가령 實驗室에서 飽和된 花崗岩 試片을 500°C 이상으로 가열한 다음 2,000 kg/cm² 정도의 壓力 상태에서 三軸壓縮試驗을 한다면 試片은 脆性破壞를 일으키는 대신 流動을 한다는 설명은 그럴듯하게 首肯이 가는 설명이고 이러한 狀況은 地球表面에서 10 km 이내에서 일어날 수 있을 것이다. 거기에서 深度가 증가함에 따라 壓力 및 溫度가 上昇하면 이러한 現象은 더욱 두드러지게 되고, 上冷下溫의 狀態에서 느린 對流가 일어난다는 것도 쉽게 짐작이 가는 이야기이다. 이렇게 일어난 對流는 地殼底部에 부딪혀 퍼지므로 그 부분의 地殼은 引張應力을 받는 동시에 加熱되어 양쪽으로 分離되면서 서로 反對方向으로 對流粘性力에 의하여 移動을 하게 되고, 이와 연결된

딱딱한 地殼의 板狀體(Lithosphere)는 壓縮應力을 받아 그 進行方向의 끝단(서로 밀리며 맞부딪히는 끝단)에서는 殘留應力이 蓄積되었다가 어느 限界에 이르면 板狀體가 부러지던가 주름이 잡히던가 하는데, 대부분의 경우는 다른 板狀體와 서로 맞부딪히는 접촉점에서 주기적으로 摩擦을 일으키면서 Mantle 속으로 빠져들어 가고, 일단 Mantle 속으로 내려간 板狀體는 그 重力에 의하여 表面에 있는 部分을 아래로 끌어 내리는 牽引力으로 작용하게 되어(食卓 끝에 담요를 걸쳐 놓았을 때 그 무게에 끌려 담요가 미끌어지듯이) 板狀體의 移動이 더욱 加速化 된다는 것이다.

이때에 板狀體가 對流에 의하여 分離되는 부위에서는 海嶺이 생겨나고, 맞부딪쳐 부러지면 그 부위에는 斷層이 발달하며, 같은 板狀體에서 移動方向이 벌어지면 그 단면에서는 地溝帶 또는 海底割裂이 생기며, 部分的으로 서로 크기가 다른 殘留應力을 받을 경우에는 그 移動方向으로 破碎帶가 발달하고, 주름이 잡히는 곳에서는 褶曲 山脈이 생기며, Mantle 로 빠져들어 가는 곳에서는 海溝가 생겨난다(그림 6), 한편 殘留應力이 축적되는 동안에는 Tectonic Stress가 계속 증가되다가 이 應力이 Plate 接觸部の 摩擦強度에 도달하면 몇 10년을 週期로 Slip(단약 접촉부가 斷層인 경우에는 剪斷破壞가 일어난다)이 일어나면서 地震이 발생하여 일단 殘留應力은 消滅되며(이 개념을 Elastic Rebound Theory라 한다), 이것은 한꺼번에 전부가 소멸될 수도 있고 부분적으로 조금씩 소멸될 수도 있으며, 深部에서나 淺部에서나 일어나므로 地震이 발생할 때, 豫震이나 餘震이 다르게 되며 震央의 깊이에 따라 地震感度가 달라진다.

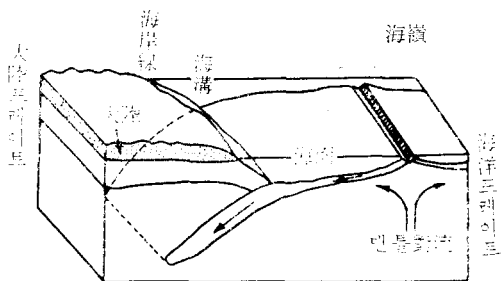


그림 6. Mantle 對流

World-Wide Distribution of Tectonic Plates

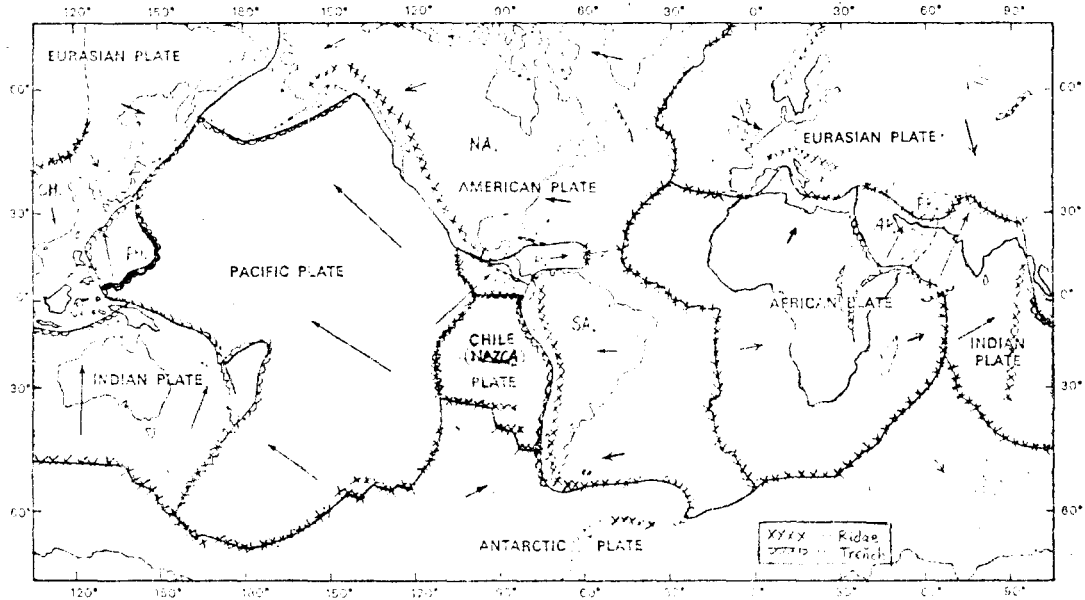


그림 7. Tectonic Plate 의 分布

일반적으로 海嶺과 海溝는 한번 生成되면 그 部位에서 같은 作用이 계속되어 Mantle 流體가 海嶺에 가까워지면서 점차 冷却 固結되어 Plate 에 공급되고 海溝에서는 Plate 가 沈沒하여 深部에 다달으면 Mantle 流體에 가담하게 되는 大循環이 일어난다.

1970年代 초에 이르러 地球物理學者들에 의하여 地球의 表面은 海嶺과 海溝를 境界線으로 하여 10數個의 Tectonic Plate 로 區分되어(그림 7) 그 地域名에 따라 命名되고 海底地圖가 상세히 作成되기에 이르며, 古地磁氣學의 功績으로 各 Tectonic Plate 의 絕對速度(Mantle 에 固定

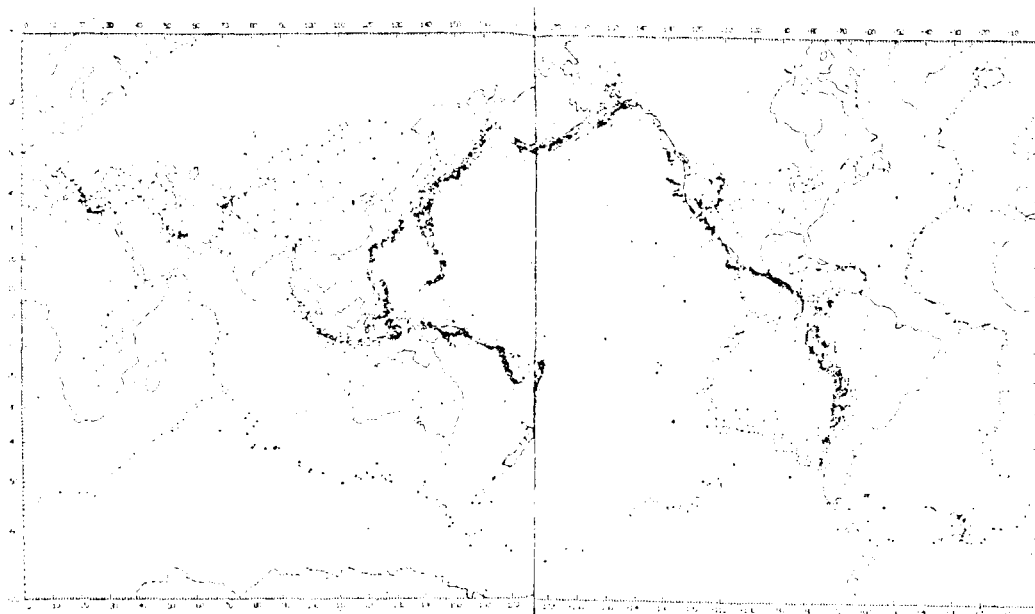


그림 8. 地震震央의 分布

座標軸을 설정한 速度 Vector)를 정확히 測定하기에 이르러 現今에 出刊되는 World Atlas 에는 陸地地圖에 못지않은 상세한 Ocean-Floor Map 이 실리게 되었다.

여기에서 參考로 Plate Tectonics 의 열쇠가 되는 古地磁氣學⁶⁾을 잠간 紹介하고자 한다.

岩石이 熔融상태에서 冷却 固結될 때에 일정한 溫度까지 冷却되면 岩石에 함유된 酸化鐵이 地磁氣의 영향으로 磁化된다. 이렇게 岩石 組織에 Print 된 殘留磁氣는 安定性이 매우 높아 그 후에 수 100배의 交番磁場을 받더라도 影響을 받지 않고 당초의 磁氣의 強度 및 方向으로 固定되어 있다. 이때에 磁化되는 溫度를 Curie Point 또는 Curie Temperature 라 한다.

古地磁氣學은 이러한 原理를 이용하여 岩石에 Print 된 磁氣의 強度와 方向을 檢査하고 放射性 同位元素의 半減期를 조사하여 그 岩石이 固結된 時代 및 그 당시의 地磁氣의 상태 등을 탐구하는 學問이다.

1938년에 H. Block 에 의하여 발견된 核磁氣 共鳴現象을 이용한 Proton 磁力計로 航空機나 船上에서 陸上 또는 海上을 走査하면 地殼岩石의 殘留磁氣의 平面的 變化를 알 수 있다. 이러한 調查資料를 集積하면 兩極의 移動經路 또는 大陸의 移動履歷을 알 수 있는데, 地球의 磁場은 數百萬年 사이에 몇번이나 逆轉하였고⁷⁾ 현재의 地磁氣強度는 700년에 약 5%씩 감소되는 추세에 있어 이러한 比率로 가면 2,000年 후에는 磁力는 0이 되고 그 후에는 차츰 逆方向으로 磁力가 強化될 것이라는 推論을 하고 있다.

Plate Tectonics 에 있어서는 이를테면 Mid-Atlantic Ridge 부근을 Proton 磁力計로 走査하면 古地磁氣의 變動상태가 얼룩말의 무늬 모양으로 左右(南 America 측과 Africa 측)對稱으로 나타난다. 여기에서 海嶺軸으로 부터 各 對稱무늬까지의 距離를 測定하고 放射性 同位元素 半減期를 측정하여 時代를 推定하던 Tectonic Plate 의 移動方向과 速度를 정확하게 계산할 수 있다.

Tectonic Plate 들을 열거하면 Pacific, Indian, North American, South American, Chile(Nazca), African, Antarctic, Eurasian, Philippine, Chinese, Cocos, Caribbean, Arabian 및 Persian

Plate 등으로 區分된다.(그림 7)

그림 7은 Tectonic Plate 의 分布를 나타내는 地圖⁸⁾에 筆者가 Ocean-Floor Map⁹⁾을 옮겨 海嶺, 海溝, 褶曲을 그려 넣은 것으로서, Plate 의 移動始端에는 海嶺, 移動終端에는 海溝 또는 褶曲이 발달되어 있으며, 이들이 현저하게 발달될수록, 또한 그 延長이 길수록 Plate 의 絕對速度가 큰 것을 엿볼 수 있고 Plate 의 境界線을 따라 地震이 일어나고 있음을 알 수 있다.(그림 8)

(2) 隆起와 沈降

Tectonic Plate 의 작용으로 地殼이 隆起하는 것으로 유명한 곳은 Fennoscandia 地方을 들 수 있다.⁴⁾ 이 地域은 第四冰河時代가 끝나면서(약 40,000년전) 2,500 m 의 두께로 덮여있던 氷河가 서서히 녹으면서(약 10,000년전에 解氷이 끝났음) 계속적으로 隆起하고 있으며 지금도 그 中心部(Bothnia 灣)에서는 10 mm/year 의 速度로 隆起가 일어나고 있다고 한다.(그림 9)

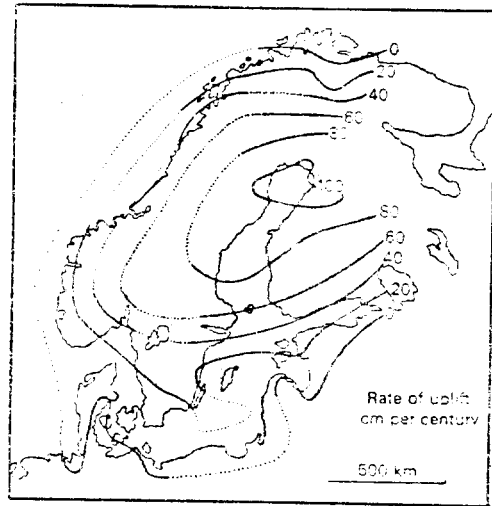


그림 9. Fennoscandia 의 隆起

이 Mechanism 은 Plate 가 荷重을 받으면 그 底部의 Mantle 粘性流體가 서서히 밀려나고 Plate 의 彈性的 特性에 의하여 아래로 휘면서 沈降하였다가 荷重이 除去되면 Mantle 流體가 제자리로 돌아오면서 서서히 隆起한다는 것으로 설명된다. 계산에 의하면, 上部 Mantle 의 粘性係數는 10^{22} Poise 로 추정되어 Fennoscandia 地殼의 Relaxation Time 은 무려 5,000년 이상이며,

과거에 500 m 정도가 隆起하였고, 장래에도 약 200 m는 추가로 隆起가 일어날 것이라는 것이 定說로 되어 있다. 여기와 비슷한 곳으로 北美大陸의 氷河 中心地였던 Hudson 河口 地方은 Fennoscandia와 똑같이 10 mm/year의 隆起가 일어나고 있다.

이러한 설명 과정에서 舉論되는 Isostasy 說 (Moho 不連續線인 地殼의 底面은 항상 均等壓力이라는 假說)은 紙面관계로 생략한다.

沈降으로 유명한 것은 “日本列島の 沈沒說”이 있다. 日本列島는 Pacific Plate, Philippine Plate 및 Chinese Plate의 Tectonic Stress가 서로 맞부딪히는 境界에 위치하여 太平洋岸에는 海溝가 매우 발달되어 있고 地震 多發地域으로도 惡名이 높은 곳이다.

日本列島는 中生代까지만 해도 直線 모양³⁾을 하고 있던 列島가 第三紀에 이르러 Pacific Plate와 Philippine Plate의 영향으로 直角에 가깝도록 彎曲하면서 한편으로는 Chinese Plate의 東南進으로 인하여 Japan Trench로 Mantle 깊숙히 말려 들어가고 있다고 한다. 더구나 直角彎曲部인 本州 中央部는 Fossa Magna(糸魚川—靜岡 構造線)라고 하여 이 斷面에서는 太平洋沿岸 쪽은 引張應力을 받아 벌어지면서 沈降하고 東海沿岸(本州의 西海岸)쪽은 壓縮應力을 받아 뒤어 나오는 작용을 받아 Fossa Magna 一帶는 脆弱帶를 형성하고 있으므로 活火山의 활동이 활발하고 地震이 자주 일어난다.

5. Tectonic Stress의 影響

(1) 造山運動

위에서 언급한 바와 같이 Tectonic Stress에

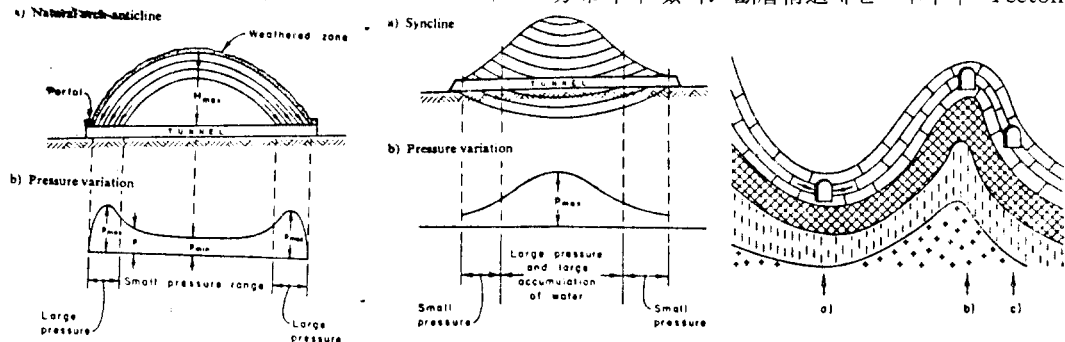


그림 11. 背斜 및 向斜構造가 터널에 미치는 影響

의하여 海嶺, 海溝, 褶曲, 斷層, 破碎帶, 地溝帶 등이 형성되는데, 局部的으로 형성된 褶曲으로 인한 地殼構造 중에서 댐 또는 대형 構造物의 基礎岩盤이나 地下岩石空洞의 特性을 좌우하는 것은 岩層의 傾斜構造 특히 背斜 또는 向斜, 斷層 및 破碎帶 등이다.

댐의 安定에 관계되는 것으로서는 댐의 基礎岩盤이 向斜構造인 경우에는 揚壓力은 비교적 크게 받지만 滑動에 대한 安定性은 비교적 높으며, 背斜構造인 경우에는 그 반대이다. (그림 10)

터널이 背斜構造를 중단으로 貫通할 때에는 地層의 아아치 효과에 의하여 터널 中央部는 地壓을 비교적 적게 받지만 坑口 부근에서는 큰 地壓을 받으며, 반대로 向斜構造에서는 터널 中

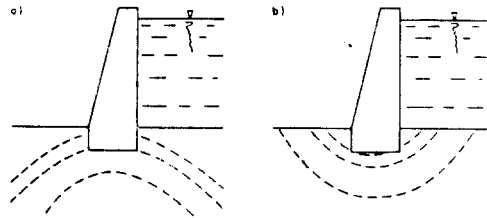


그림 10. 背斜 및 向斜構造가 댐에 미치는 影響

中央部에 가까울수록 地壓을 점차 크게 받고 地下水의 集中으로 인한 湧水가 예상되므로 支保工과 排水工에 留意하여야 한다. 또 한편 背斜構造 頂部에 터널斷面이 통과할 때에는 비교적 安全하게 굴진할 수 있으나 向斜構造 底部 또는 中腹部에서는 側壓과 湧水에 대비하여야 한다. (그림 11)

댐이나 原子爐와 같이 그 底面積이 큰 구조물의 기초암반에서는 적지 않은 斷層과 破碎帶가 分布되어 있다. 斷層構造에는 과거의 Tectonic

Stress의 向方에 따라 발달된 正斷層, 逆斷層 및 水平斷層 등이 있으며 斷層에는 오랜 세월을 두고 自然水의 浸透로 岩質이 風化되어 粘土化 되므로 境界面은 剪斷抵抗力이 약화되어 사소한 外力에도 崩壞, 滑動, 沈下를 일으킬 가능성이 높고, 기초의 漏水, 揚壓力, 不等沈下 및 道路, 鐵道, 流路, 管路 등의 切斷, 또 한편으로는 斜面의 崩壞, 滑動 등의 요인이 되며, (그림 12) 또한 현재에도 움직이고 있는 斷層이 있으므로 주요 구조물의 기초 또는 터널에서는 Tectonic Stress를 測定하는 것이 바람직하다. 지금도 움직이고 있어 그때마다 큰 地震을 유발하는 斷層으로서 Motagua Fault(Guatemala), San Andreas Fault(Cal. U.S.) 등이 세계적으로 유명하다.¹⁰⁾

破碎帶는 Tectonic Stress로 인한 剪斷破壞가 일어날 때에 斷層面이 破碎된 것과 風化작용

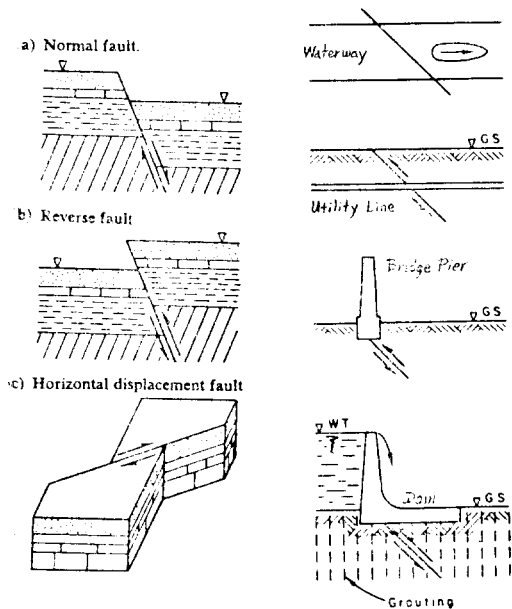


그림 12. 正斷層, 逆斷層, 水平斷層의 模型 및 構造物에 미치는 影響

으로 斷層面이 碎石, 砂礫, 粘土 등으로 변질된 것을 말하며 모든 舉動은 斷層과 유사하다.

주요 구조물의 기초암반에 산재된 斷層 및 破碎帶에는 Fissure Grouting, Slash Grouting 또는 Rock Anchoring 등으로 충분히 處理하여 後患이 없게 조치하여야 한다.

(2) 地震

造山運動 과정에서 Mantle 對流로 生成된 Tectonic Plate가 地殼으로 上昇하면서 摩擦로 인하여 海嶺의 표면 부근을 震央으로 하여 일어나는 地震, Plate의 終端이 海溝에서 Mantle로 沈下하면서 海溝의 표면 또는 深部에서 일어나는 地震, Plate의 이동으로 褶曲이 일어날 때에 斷層의 剪斷破壞로 인한 地震 등이 있어 震源이 얇은 것을 淺部地震이라 하며 깊은 것을 深部地震이라 한다. 그러므로 地震은 거의 Tectonic Plate의 境界에 海嶺이나 海溝가 발달된 곳에서 주로 일어나고 海嶺보다 海溝에서 더욱 빈번히 일어나며 褶曲山脈에서는 비교적 그 頻도가 낮다.¹⁰⁾

地震波는 地層의 彈性的 特性(密度, 彈性係數, Poisson比 등)에 따라 그 速度와 位相을 달리하는 壓縮波 剪斷波 Rayleigh波, Love波 등으로 분리되어 地層을 傳播하면서 그 振動에너지의 작용으로 地殼이나 構造物에 크고 작은 갖가지 危害와 破壞를 일으킨다.

댐, 옹벽, 기타 주요 構造物에 龜裂, 漏水, 轉倒, 滑動, 沈下 등을 일으키며, 斜面을 崩壞 혹은 滑動시키고, 道路 또는 鐵道 등을 切斷하며, 地殼에 龜裂 또는 破碎를 일으키는 외에 津波(Tsunami)를 동반하기도 한다. 이러한 地震에 抵抗하기 위하여 構造物을 耐震構造로 設計하던가, 重力式 댐 등을 Rock Anchoring으로 補強하던가, 斜面의 上載荷重을 輕減, 除去, Root Piling, 혹은 Soil Nailing 등으로 補強하는 조치를 강구하는 것이 바람직하다.

參 考 文 獻

- 1) Hast, N.; The Measurement of Rock Pressure in Mines, S.G.U., ARSBCK, 52, No. 3, 1958.
- 2) Jumikis, A.R.; Rock Mechanics, 2nd ed., Trans. Tech. Pub., 1983, p. 306, pp. 555~556.
- 3) Newsweek, 1985, 9, 30, pp. 8~15.
- 4) Bott, M.H.P; The Interior of the Earth, Edward Arnold, 1972, pp. 201~227, pp. 240~243.
- 5) 北川三郎, H.G. Wells, "The Outline of History" (日譯版) 世界文化史大系, 大鑑閣, 1943, pp. 89~99.
- 6) Irving, E.; Paleomagnetism and its Application

- to Geological and Geophysical Problems, John Wiley & Sons, New York, 1964, p. 399.
- 7) 三東哲夫;地震學の新しい展開 1~5, 土と基礎, 1973, 6, 7, 8, 9, 11.
- 8) Espenshade, Jr. E.B.; Goode's World Atlas, 16th ed., 1983, p. 229.
- 9) 掘越勲;日本列島の造山帯とプレート, 科學 42, 1972, pp. 665~673.
- 10) Bolt, B.A.; Earthquakes a Primer, W.H. Freeman & Co., 1978.