

## 颱風과 그 對策

南 宣 祐\*

### 序 言

이 글은 Britannica 백과사전사가 1972년에 발행한 과학년감에 Louis Battan이 쓴 글을 要約한 것이며 우리나라 태풍의 성격과는 약간 차원이 다른지 모르나 태풍과 폭풍우를 이해하고 그 피해를 방지 한다는 면에서 다소라도 참고가 될 것으로 판단하여 여기에 소개하고자 한다.

폭풍우와 태풍은 매년 지구상의 많은 곳을 강타하여 죽음과 파괴를 가져온다. 과학자들은 폭풍우와 태풍을 조절할 수 있다는 희망을 가지고 이 무서운 태풍과 폭풍우의 연구에 몰몰하고 있다.

颱風과 旋風은 둘 다 기대한 파괴력을 가진 폭풍우의 형태이며 이것들은 모두 기상이 불안정한 상태에서 일어난다. 따라서 온화한 기상상태로부터 이러한 살인적이고 파괴적인 폭풍우를 일으키는 원인이 무엇이며 또 어떻게 막을 수 있는가가 우리가 당면하고 있는 과제인 것이다. 다음에 세계도처에서 발생하는 대표적인 태풍의 發生經路와 影響 및 그 對策에 관하여 論하고자 한다.

### 1. Tornadoes(미국의 旋風)

#### 1) 미국 선풍(Tornadoes)의 根源

Tornadoes가 가끔 서유럽, 오스트레일리아, 인도, 일본 등지에서 나타난다고 관측되기는 하지만 그것은 미국이나 소련에 있어서는 보통정도 밖에 안되는 강도의 것들이다. 1955년부터 10년에 걸쳐 미국에서 보고된 Tornado의 수는 매년 700회 정도 되었으나 강도가 약한 것까지 합친다면 그 수는 훨씬 상회 할 것이다.

계절적, 지리적 Tornado의 분포는 대기의 바람성향, 온도, 습도 등에 광범위하게 의존한다. 일반적으로 폭풍우(storm)는 상대적으로 얇은 층의 덥고 습한 공기가 남서방향으로 급속히 움직이는 건조한 공기의 두꺼

운 층에 의해 덥혀질때 형성된다. 만일 이러한 공기가 한냉전선과 같은 기상의 변화에 맞부딪히면 공중으로 올라가게 되고 이때 공기집단은 매우 불안정하게 된다. 이러한 상태에서 일반적으로 뇌우(Thunder storms)가 생기게 되며, 몇몇의 뇌우는 Tornado를 형성하게 된다.

이러한 상태는 멕시코 단으로부터 온 열대공기가 미 중부의 남부지역을 지나갈 때인 봄에 종종 발생한다. 계절이 변함에 따라 덥고 습한 공기는 더욱더 북쪽으로 확장하여 여름에는 캐나다에 이른다. 이 열대공기의 북쪽으로의 확장은 때때로 남서방향의 높고 빠르고 건조한 기류를 동반하며 이에 의하여 Tornado가 발생하게 된다.

#### 2) 미국 선풍의 형성

Tornado는 대개 굴뚝모양, 기둥 혹은 로프의 형태로 지상으로부터 뇌우의 밑에까지 뻗쳐진다. 이러한 Tornado의 직경은 대부분 1.5km 이하이며, 종종 400m조차 안되는 것들도 있다. 일반적으로 폭단적인 Tornado는 지상위에 기껏해야 수분동안 머무르나, 어떠한 것은 350km에 걸쳐 3시간 동안 지상위에 존재한 것도 있었다.

우리가 눈으로 볼 수 있는 Tornado의 원주형태의 부분은 안개속의 물방울과 같은 것으로 구성되어 있다. 이 원주형태 부분을 통과하는 공기의 움직임은 낮은 대기압 때문에 급속히 팽창하며, 이로 인하여 온도 감소와 상대습도의 증가, 그리고 대기속에서 수증기의 응축 등에 의하여 눈에 보이는 물방울을 형성시키는 것이다. 우리나라를 비롯한 동양 각국에서 예로부터 龍이 승천한다고 믿는 傳説은 바로 旋風이 圓柱와 같이 위로 뻗치는 현상이라고 볼 수 있다.

크기가 작고, 지속시간이 짧을 뿐만 아니라, 난폭한 특성 때문에 Tornado의 구성에 대한 세부사항을 얻어 내기란 매우 어렵다. Tornado의 내부에서 직접적으로

\* 本學會 編輯委員長, 東國大學校 工科大學 土木工學科 副教授, 工博.

측정된 것은 거의 없기 때문에, 우리가 Tornado에 대하여 알 수 있는 대부분의 것들은 단지 지상 위의 파괴된 잔재의 형상이든지 또는 촬영된 사진의 연구에 의하여 얻어진다. 그러나 자료의 부족에도 불구하고 Tornado는 직경이 작고, 중심에서 기압이 매우 낮으며, 상당히 강한 바람을 동반한다는 사실을 알 수 있다.

Tornado 중심에서의 최대풍속과 기압에 대한 매우 신뢰성있는 측정에 의하면 중심의 기압은 평균 해수면의 경우 80%에 불과하였다. 그러므로 건물이 이 Tornado 밑에 있게 된다면, 건물내부의 압력이 외부보다 훨씬 높은 결과를 초래하며 이때 창문이나 문이 닫혀있다면, 강력한 기압차에 의하여 지붕이나 혹은 벽조차도 파괴되어 버릴 수 있는 것이다.

최근에 시카고대학의 T.Fujita는 Tornado 중심의 기압이 매우 낮은 부분을 "Suction Spots"라 칭했으며, 중심의 1/20 정도의 직경을 갖은 이 Suction Spots는 Tornado의 강한 바람에 의하여 운반되고 대부분의 파괴에 대한 원인으로 생각되는 것이다. 또한 Tornado가 집 한채는 완전히 파괴시키면서도 그 주위의 다른 집은 다만 3m 정도를 고스란히 옮겨 놓는 것과 같은, 이상한 특징도 이 Suction Spots 때문인 것으로 생각되는 것이다.

Tornado가 포함하고 있는 강력한 힘에 견디는 풍속계가 거의 없기 때문에 직접적으로 Tornado의 최대 풍속을 측정할 값은 거의 없는 형편이다. 그러나 風速은 이 Tornado의 원주모양 형태를, 또한 피해상황을 조사하는 것에 의하여 대략적으로 추측할 수 있는 것이다. 이러한 방법에 의하여 Fujita와 그 연구진들은 시속이 거의 320km 정도 된다고 추산해 내었다. 그러나 이 값은 이전에 추산된 것에 비하면  $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$  정도 밖에 안되는 것이었다. Fujita는 이 시속이 2~3배인 바람을 시속 480km의 돌풍일 것이라고 판단하였다.

### 3) Tornado의 발견, 경보 그리고 조절

현재까지도 우리는 Tornado를 발견하고 추적하는 적당한 방법을 모르고 있다. 가장 유용한 방법은 레이더에 의한 것이지만 이 방법은 단지 시간을 단축시킨다는 의미밖에 없는 것이다. 한편으로는 보통레이더가 뇌우를 추적하는데 좋은 성능을 보여주고 있다. 한때는 이러한 일이 육안에 의해서 이루어 졌으며, 예상경로를 따라 주민을 대피시키기도 하였던 것이다.

현대의 전자기술에 의하여, 매우 신뢰성있는 Tornado의 발견과 추적기술의 개발이 가능할 수 있다. 이는 적절하게 설계된 도플러 레이더(Doppler)를 이용하는 방

법으로 보통 레이더와 같이 뇌우의 위치나 강도를 알려줄 뿐만 아니라, Tornado의 이동방법과 강풍에 의하여 운반되는 파편의 속도까지도 감지할 수 있게 해 주는 것이다.

美國氣象臺에서는 Tornado가 형성되기에 적당한 대기상태를 발견하면 Tornado 觀測을 준비한다. 따라서 지정된 地域에서 예상 Tornado를 觀測하며, 市民들에게 暴雨의 可能性을 경보하고 계속적으로 라디오 TV를 통해 이것의 발달 상황을 알려 준다.

Tornado가 원통 모양으로 되었을 때 경보가 발해지게 된다.

Tornado는 時速 110km 정도의 速度로 이동하나 보통은 그 절반도 안되는 速度로 이동하며, 사람이 이것을 만났을 경우 멀리 피하거나 地下로 피할 수 없으므로 단지 건물의 최하부나 벽 안쪽에 기대어 있어야 하며, 되도록 창문과 떨어진 곳에 있는 것이 좋다.

住宅의 경우는 건물 内部와 압력이 같도록 창문이나 문등을 열어 놓는 것이 현명하다.

Tornado의 形成을 방해하거나 이것을 일찍 탐지하여 그 위력을 弱化시킬 수는 있지만 그 크기가 매우 작고 지속기간이 짧을 뿐더러 발생하는 정확한장소를 예측하기 어려워 아주 힘든 일이다.

몇몇 科學者들에 의해 Tornado를 약화시키는 방법이 연구되고 있지만 Tornado의 성공적인 조절을 위해서는 보다 오랜 기간의 원대한 목표가 세워져야 할 것이다.

## 2. 颱風(Hurricanes, Tyoons, Cyclones)

熱帶性 暴風은 地球의 여러 地域에서 發生하는데 이것의 時速은 120km 이상이고 西大西洋이나 멕시코灣에 걸쳐 형성될 때 이를 허리케인이라 하며, 같은 形態의 暴風이 太平洋에서 發生하여 우리나라나 日本을 향할 때는 타이푼, 인도양에서 아시아 대륙으로 이동할 때는 사이클론이라고 한다.

같은 形態의 暴風에 각기 다른 이름이 붙여졌기 때문에 혼동하기 쉽다. 더우기 氣象學者들은 저기압대 주변의 폐쇄순환을 사이클론이라고 지칭하는데 인도나 파키스탄에서는 통상 허리케인이라고 부르는 暴風을 사이클론이라 부른다. 1970년 11월 중순경에 이런 暴風이 동파키스탄을 휩쓸었으며 그 結果 人類 歷史上 최악의 자연 재해가 일어났으며 이때 死亡者는 30만이상이나 되었다.

허리케인의 바람은 Tornado의 바람보다 정도면에서 경미하지만 그 규모가 크고 오래 지속되어 결과적으로 Tornado보다 더 큰 손상과 인명피해를 초래한다. 그렇

지만 허리케인의 큰 규모와 긴 지속기간은 이것의 추경과 觀測을 쉽게 한다. 따라서 現代科學과 기술로써 효과적으로 處理할 수 있다.

### 1) 허리케인의 根源

허리케인이 전세계를 통해 늦여름과 초가을에 형성되는 이유는 바닷물의 온도 상승과 대기속으로의 에너지 전달의 증가로 因하여 허리케인의 發展이 쉽게 되기 때문이다. 熱帶의 北大西洋에서는 허리케인이 보통 8월에서 10월 사이에 발생하지만 때로는 빠리는 6월에 늦게는 11월에 發生하기도 한다. 허리케인은 보통 육지와 찬 바다 위를 지날 때 急速度로 약화되는 데, 따뜻한 바닷물 즉 에너지의 主根源이 분산되기 때문이다. 허리케인은 溫帶, 熱帶 海洋에서 발달하지만 이것의 형성은 수천마일 떨어진 대륙에서 일어나는 현상과 때로 관련되어 있다.

기상 위성의 觀測 資料에 따르면 열대 대서양에서 發生하여 美國에 影響을 미치는 허리케인은 아프리카 전역에 걸친 저기압대 中心部에 그 根源을 두고 있다.

저기압 지역에서 무역풍 지역으로 西進함에 따라 온난다습한 공기가 되며 이로 인해 구름과 비가 形成되며 저기압권 中心部에 강력한 에너지를 供給하게 된다. 규모가 작은 경우 대기압은 현저하게 떨어지며, 風速은 허리케인의 힘을 증가시킨다. 北半球에서는 暴風으로 전환하는 空氣가 중심 부근에서 反時計 方向으로 움직이고, 南半球에서는 바람이 눈 주위를 시계 방향으로 분다. 低地域에서 暴風으로 되는 空氣는 나선형으로 위로 향하며 高地域에서는 허리케인으로 된다.

허리케인의 형성 과정은 구름이 形成되고 風速이 증가함에 따라 전개되며 수일이 걸린다. 이 暴風이 허리케인의 速度와 같아짐에 따라 구분이 쉽게 이름이 붙어지는데 女性的의 이름을 부여하는 것이 보통이며 돌림자를 주어 최초의 폭풍은 A자로 시작하며 두번째는 B, 세번째는 C...와 같이 계속된다. 1972년 大西洋에서 발생한 허리케인은 이와 같이 Abby, Brenda, Candy, Dolly 등으로 명명되었다.

### 2) 暴風雨와 그 눈

허리케인의 현저한 특징은 暴風 중심에 있는 가벼운 바람과 구름이 약간 끼어 있는 청명한 눈이다. 상대적으로 고요한 기상은 구름의 成長을 방해하는 하강기류와 관련된다. 허리케인 눈의 지름은 평균 25km 정도이나 暴風에 따라 다르며 또 같은 暴風일 지라도 시간에 따라 다르기 마련이다. 이 눈은, 높은 위치까지 확장된 雷雨로 소위 "wall clouds"라 불리는 지역과 접

해 있다. 풍속의 현저한 증가는 눈의 가장자리에서 일어나며 最大 速度는 wall clouds 지역과 관련이 깊다. 暴風은 보통 時速 160km 정도이며 時速 320km를 넘을 때도 있다. 暴風의 中心部로 부터의 거리가 최대 속도의 반을 넘어서 증가함에 따라 風速은 暴風의 스용돌이에서 150km 정도 떨어진 거리에서 時速 30km 쯤 되도록 점차 감소한다. 허리케인이 低速으로 지나갈 때는 많은 양의 비를 내리는 데 예를 들자면, 1909년 11월 暴風이 Jamaica, Silver Hill을 지날 때 4일 동안 2400mm 가량의 비가 내렸으며 Taylor, Texas 지방은 1921년 9월 9, 10일 동안 600mm의 강우로 침수되었다. 허리케인의 強風으로 인해 대단히 높은 파도가 일게 되는데 大西洋의 평균 波高는 10~12m이며 큰 허리케인의 경우 약 14m를 넘는다. 전형적인 熱帶性 暴風은 時速 20km 정도로 이동하나 이로 인한 波速은 3~4배 정도 빨라진다. 그 結果 波는 暴風에 앞서 이동하며, 따라서 波高는 감소한다. 허리케인이 海岸에 다다르면 대륙붕과 같은 低地 등 몇가지 요인 때문에 海面이 상승한다.

어떤 경우에는 6~10m 높이의 波高가 되어 내륙을 휩쓴다. 이것이 바로 海濤 현상인데 이를 피하는 길은 高地帶로 피신하는 것 뿐이다. 만약 경보가 적절치 못했거나, 무시되거나, 住民들이 피하는 方法을 모를 경우에는 큰 재난을 당하게 된다. 1970년에 東파키스탄을 強打한 사이클론은 위성과 레이다에 의해 發見되었으나 速度를 測定할 수는 없었다. 그럼에도 불구하고 이 나라의 氣象臺는 대단히 위험한 暴風을 예견했다. 그러나 여러 이유로 인해 많은 住民들이 이 예보를 무시하고서 내륙이나 高地帶로 피신하지 않았기 때문에 平均 水面보다 6m나 높은 허리케인 波高의 희생물이 되었다.

분명히 허리케인은 우리에게 대단히 해로운 반면 이로울 수도 있다.

만약 허리케인이 美國 南東部를 周期的으로 지나가지 않는다면 그 地域의 연평균 강우량의 결정적인 감소요인이 된다. 따라서 이 地域의 기후는 점점 건조하게 되고 그 결과 모든 植物이 枯死하게 되며, 도시는 給水 부족에 이르게 되고, 물 供給을 위해 고통을 겪게 될 것이다.

### 3) 허리케인의 發見과 추적

적어도 하루에 한번씩 기상위성은 전 地球에 대한 氣象圖를 作成하기 때문에 全世界 어디에서든지 허리케인이 24시간 內에 발견되지 않을 수 없다. 어떤 지역은 하루에 몇번씩 觀測되기도 하는데, 예를 들면 브

라질 위의 高度 35,700km 높이에 쏘아 올린 “Applications Technology Satellite 3호”는 적어도 매 20분마다 大西洋을 觀測할 수 있다.

허리케인이 육지에 320km 이상 접근하게 되면, 레이다는 구름속의 커다란 비나 눈 粒子들을 感知할 수 있고, 매 분마다 이 暴風을 추적하게 된다. 그러나 現在까지도 우리는 위성이나 레이다로도 폭풍 内部의 風速을 正確하게는 觀測하지 못하고 있다. 이러한 作業을 하기 위하여 특수한 장비를 積在한 정찰기가 必要하며, 美國에 있어서, 이러한 비행기는 海軍이나 國立海洋局에 의하여 운행된다.

허리케인이 위성에 의하여 이 비행기의 活動半徑 안에서 發見되었을 때 이 정찰기는 出動하여, 颱風의 위치나 風速을 測定하게 된다.

國立氣象局은 만약에 허리케인이 居住地域을 통과할 위험이 있을 때에 “태풍주의보”를 發하게 되며, 颱風이 24時間안에 통과에 예상될 때는 “태풍경보”를 發하게 된다.

#### 4) 허리케인의 조절

만약 颱風의 風速을 줄일 수만 있다면 피해를 크게 줄일 수도 있을 것이다. 이러한 颱風의 조절이나 經路의 변경에 대한 생각은 오래전부터 해 왔다.

첫번째 시도는 1947年 10月 13日 “General Electric Research Laboratory”의 Irving Langmuir와 그의 研究陣에 의해서 美 南部海岸에 있는 허리케인에 약90km의 드라이 아이스粉을 살포하는 것으로 始作되었으며, 살포 뒤에 이 颱風은 不規則한 經路를 形成하여 陸地로 向하였다. Langmuir는 이 폭풍의 거동이 드라이 아이스에 의하여 변하였다고 主張하였다. 여러가지 이유 때문에, 이러한 研究는 1962年 美 氣象局과 海軍에 의해 “Project Stormfury”라는 계획이 樹立될 때까지 별 진척이 없었다. 여러 해 동안 이 project에 의해 Robert H. Simpson, Joanne Simpson, Gentry는 허리케인의 性質과 颱風의 세력을 弱화시키는 수많은 試驗을 行하였으며, 그들은 얼음 結晶을 形成하는 物質을 颱風의 눈 주위에 살포하여 颱風의 氣壓 양상을 변화시키며 또한 最大風速을 저하시킬 수 있다는 간단한 가설을 發展시켰다.

“Langmuir”가 한 것과 같이 드라이 아이스를 태풍에 살포하는 것 대신에 “Project Stormfury”는 海軍 科學者에 의해서 만들어진 특수한 장치를 高速의 비행기로부터 投下하였다. 이 特殊한 장치는 은옥화물 (Silver iodide)과 화염물질로 되어 있으며, 이 장치가 유후즈에 의하여 발화되면 이때 은옥화물 粒子를 放出

하게 된다. 이 수많은 입자는 溫度가 대개 零下 5°C인 流動性 구름 地域에서 얼음 結晶을 形成한다. 이러한 일이 일어날 때 적기는 하지만 열이 放出되며, 이 열은 空氣의 온도를 높여 주게되며, 이 열이 허리케인의 거동을 변화시킨다는 理論인 것이다.

1960年代 初期에 두번에 걸쳐 허리케인에 살포가 試行되었으나, 거주지역으로부터 멀리 떨어진 海洋에 대하여 살포가 必要 없다는 이유 때문에 中止되었다. 1969年 8月 Project Stormfury의 착상을 實現할 수 있는 기회가 北面쪽을 향해서 前進하고 있는 프에르트리코, 東北東 750km 떨어진 곳에 위치한 颱風 Debbie號에 주어질 수 있었다. 8月 18日 高度 3,656m에서 最高 風速 113km의 Debbie호에 2시간 간격으로 다섯 번에 걸쳐 살포가 試行되었다.

살포후 5시간이 지난 뒤에는 살포전에 비해서 31% 떨어진 時速 78km의 風速이 測定되었다. 8月 20日 이 颱風이 다시 強化되었을 때 또 다시 살포가 試行되었으며 初期의 風速은 114km이었으나 살포후 6시간이 지난 뒤에는 97km로 速度가 저하되었다.

1971년까지 颱風의 強度를 경감시킴에 있어서 科學者들에게 勇氣를 줄 수 있는 증거가 나타났음에도 불구하고, 태풍의 조절에 대하여 알고 있는 것은 거의 없다고 말할 수 있다. 왜냐하면 颱風 Debbie호에 있어서 우연히 速度가 떨어졌다는 可能性을 否定할 수는 없으며, 몇몇의 예에서 이러한 살포가 더 큰 颱風에 의한 손해를 야기시키기도 하였다. 또한 이러한 살포의 影響에 대해서도 거의 아는 바가 없다고 말할 수 있다. 그럼에도 불구하고 몇몇 과학자들은 허리케인이 居住地域을 위협할 때는 그 위험이 무엇이든간에 살포되어야 한다고 主張하였다. 하여튼 이러한 科學的인 見解에 있어서의 우연은 居住地域을 强打할 可能性이 있는 허리케인에 대하여 적용되기 전에 더욱 더 많은 試驗에 의하여 확인되어야 할 것이다.

#### 3. 태풍의 조절과 그 영향

科學者들이 이 사나운 颱風을 조절할 수 있게 될 때 과학자들은 많은 사람들의 生活에 매우 중요한 影響을 미치게 될 것이다. 만약에 颱風이 弱化되거나 本來의 進路로부터 이탈하게 된다면 필연적으로 많은 사람에게 이익을 줄 수 있으며 또한 다른 어떤 사람들에게는 피해를 줄 수도 있게 된다. 氣象 特性에 있어서의 변화는 기후의 變化를 야기시키며, 또한 人類나 動物, 植物의 生態를 變化시킬 것이다. 그러므로 과연 그 누가 미 남부를 위협하는 颱風의 進路를 變更해야 한다고 決定할 수 있겠는가? 만약 이러한 일이 일어나게 된

다면 內陸의 農夫들은 한발 때문에 苦痛을 받을 것이고 그 누가 이러한 댓가를 치르려고 하겠는가?

그러나 우리가 이 狂暴한 颶風을 조절할 수 있게 된다면, 氣象科學者 뿐만 아니라 社會學者, 生態學者, 法律家, 政治家, 그리고 일반 國民들에 의하여 이러한 질문에 응답되어야 할 것이다.

국제기구나 정부에 있어서도 이러한 狂暴한 태풍의 조절이 現實的으로 實現 可能하게 된다면, 잠재적으로 광범위한 사회적 影響을 주는 決言을 내리기 위하여는 어떠한 節次를 채택하거나, 적당한 法律을 만들어야 할 것이다.