Journal of the Korean Association for Spatial Structures
Vol. 11, No. 2 (통권 44호), pp.63~70, June, 2011

측벽 개방유무에 따른 축사지붕면의 풍압계수 특성분석

Analysis of the Wind Pressure Coefficient Characteristic of Livestock Shed Roof Surface according to the Opening of Side Walls

유 기 표*
You, Ki-Pyo

요 약

축사는 비닐하우스 다음으로 자연재해에 취약한 농촌시설물이다. 축사의 경우 측벽 없이 지붕만 있는 형태가 가장 많이 사용되고 있는데, 태풍이 불면 지붕 전체가 날아가 많은 피해가 발생하는 실정이다. 그래서 농가에서는 태풍피해예방을 위한 측벽에 윈치 커튼설치하여 피해를 예방하고 있는 실정이다.본 논문에서는 측벽 개방에 따른 축사지붕에 위치별 풍압계수 분포특성에 대해서 알아보고자 한다. 측벽유무에 관계없이 축사지붕면의 피크외압계수분포에서 풍향각 0° 로 불어오는 방향에 대해서 불리하게 작용하고 있는 것을 알 수 있다. 그러나 측벽의 유무에 따라 피크외압계수가 풍향각과 처마의 길이에 영향을 받는 것을 확인할 수 있었다.

Abstract

Livestock buildings are rural facilities as vulnerable to natural disasters as vinyl houses. Many of livestock buildings have a roof but without side walls. The roof of such structures is easily blown away by a typhoon and this results in a heavy loss. Therefore, farmers install winch curtains on the sides to prevent damages caused by typhoons. This study purposed to examine the distribution of wind pressure coefficient among different positions of livestock shed roof according to the opening of side walls. It was found that according to the distribution of peak external pressure coefficient on the roof surface of livestock shed, the wind blowing at wind angle 0° was disadvantageous to roof surface regardless of the presence of side walls. However, it was confirmed that the peak external pressure coefficient was affected by wind angle and the length of eave depending on the presence of side walls.

키워드 : 축사, 피크외압계수, 지붕면
Keywords : livestock shed, peak external pressure, roof surface

1. 서 론

한국은 지정학적으로 강한 태풍의 영향을 받는 위치에 놓여 있다. 기상청의 통계에 따르면 매년 평균적으로 3개 정도의 태풍이 한국을 내습하는 것으로 알려져 있다. 2002년에는 태풍 '루사' 가, 2003년에는 태풍 '매미' 가 한국 기상 관측 이래 최대의 풍속을 연이어 갱신하면서 한국의 제주도, 영남, 호남 일원을 강타하여 엄청난 인적 · 물적인 피해를 발생시켰다. 실제 자연재해에 의한 농촌시설물의 피해는 최근 5년간(2001-2005) 총 규모면에서 평균적으로 매년 온실은 2,422ha, 축사는 5,696동, 인삼 및 버섯재배시설은 1,937ha 발생하였다.[1] 특히 축사는 비닐하우스 다음으로 자연재해에 취약한 농촌시설물로 측벽 없이 지붕만 있는 형태가 가장 많이 사용되고 있는데, 이러한 형태의 축사는 태풍이 불면 지붕 전체가 날아가 많은 피해가 발생하고 있다. 농가에서는 이러한 피해를 막기 위해 측벽의 사면에 윈치 커튼을 설치하는 경우가 있는데 이러한 설비가 완전

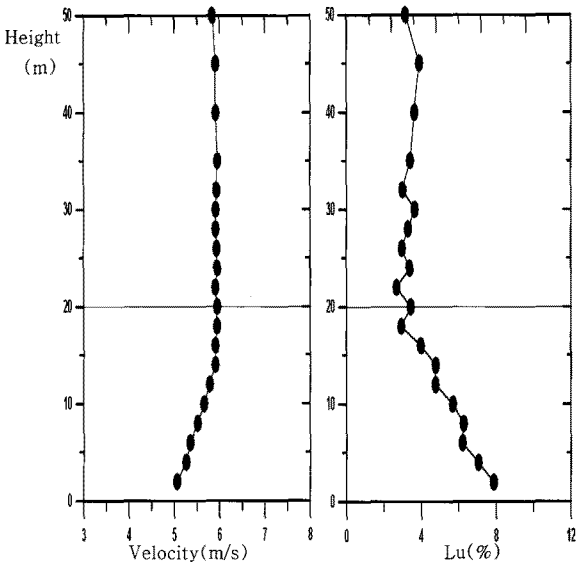
* 전북대학교 건축공학과 조교수, 공학박사
Tel: 063-270-4057 Fax:063-270-2285
E-mail : youkp@chonbuk.ac.kr

한 재해예방 대책이 되고 있지는 않은 실정이다. 농촌시설물과 같은 저층건물에 대한 풍동실험은 미국 텍사스 대학에서 실시한 실측값을 근거로 많은 연구들이 이루어지고 있다.[2)3)] 그러나 국내에서 사용되고 있는 저층건물에 대한 하중기준 평가에 대한 실험은 있지만[6)7)] 축사에 대해서는 아직 풍동실험을 통한 검증 실험은 없는실정이다. 이에 본 논문에서는 측벽 개방에 따른 축사지붕에 위치별 풍압계수 분포특성에 대해서 알아보고자 한다.

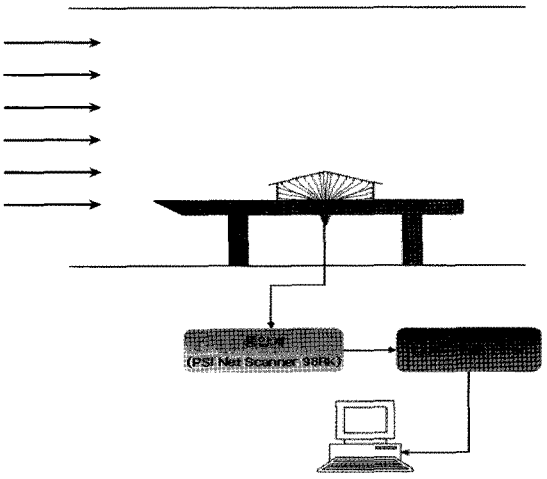
2. 풍동실험

2.1. 기류특성

풍동실험은 전북대학교 풍동실험실에서 보유하고 있는 측정부 1.5m(폭)×1.2m(높이)×12m(길이)의 개방형 풍동장치에서 이루어졌다. 풍압측정에 사용된 풍동내 기류는 균등류상태에서 실험을 실시하였다.[5)] 〈그림 1〉은 풍동내에 형성된 자유경계층에 따른 높이별 평균풍속의 분포와 난류강도의 분포를 나타나고 있다. 풍동내부에 바닥면에서 20cm이후부터 일정한 크기의 바람이 불고 있는 것을 확인할 수 있었다. 균등류상태에서 실험을 하기 위해서 풍동 내부에 실험바닥판을 설치하였다. 〈그림 2〉는 자유경계층영향이 없는 균등류 상태의 실험을 위하여 높이가 20cm, 길이 150cm, 폭이 120cm인 실험바닥판을 풍동내에 설치한 모습과 풍압계측과정을 나타나고 있다. 실험바닥판이 풍동내 기류에 영향을 주지 않도록 하기 위해 바람이 불어오는 방향의 실험바닥판의 끝부분을 뾰족하게 하였다. 〈표 1〉은 축사 모형에 대한 제원을 나타내고 있다. 실제(Prototype)과 실험(model)의 크기를 나타내고 있다. 모형스케일은 1/80으로 하였다. 축사의 지붕에 총 170개의 측압공을 설치하였다. 측벽의 유무에 따라 외압과 내압모형을 만들었다. 측벽이 있을경우는 외압모형으로 실험을 실시하였으며, 측벽이 없는 경우는 외압과 내압모형 만들어 각각 실험하였다. 〈그림 3〉은 풍압실험에 사용된 모형을 나태나고 있다. 〈표 2〉는 풍압실험에 사용된 상사법칙과 계측데이터측정방법을 나타내고 있다. 축사에 대한 풍향각 변화에 따른 피크 외압계수 특성을 분석하기 위해 0°~180° 범위에서 30° 간격으로 실험을 실시하였다.



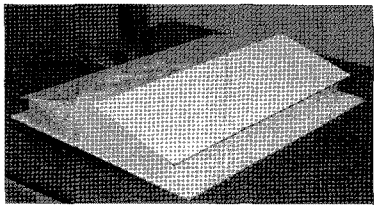
〈그림 1〉 평균풍속과 난류강도의 수직분포



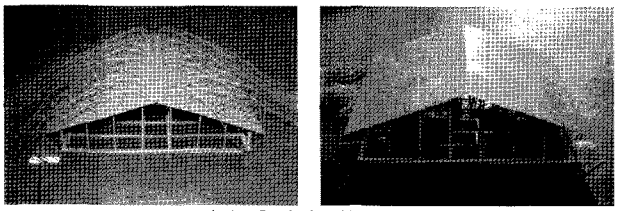
〈그림 2〉 풍압계측과정

〈표 1〉 축사 모형 제원

실제(Prototype)		실험(Model)		
폭 (mm)	지붕높이 (mm)	모형 폭 (mm)	모형 지붕높이 (mm)	모형 스케일
35000	10833	437.5	135.4	1/80



(a) 측벽이 있는 경우



(b) 측벽이 없는 경우

〈그림 3〉 풍동내 설치된 풍압모형

〈표 2〉 상사법칙과 계측데이터 측정방법

기본풍속	40m/s
풍동풍속	6m/s
풍속스케일	1/6.7
모형스케일	1/80
시간스케일	1/11.94
측정횟수	3회 (x1024)
Sampling Frequency	100Hz (0.01sec)
실험풍향	12개 풍향(30° 간격)
지표면 조도	균등류

3. 실험결과 분석

계측된 풍압데이터를 이용하여 외장재 설계용 순간 최대 및 최소 풍압계수는 식 (1)을 이용하여 구하였다.

최대 피크외압계수: $C_{P_{max}} = P_{max} / q_H$ (1)

최소 피크외압계수: $C_{P_{min}} = P_{min} / q_H$

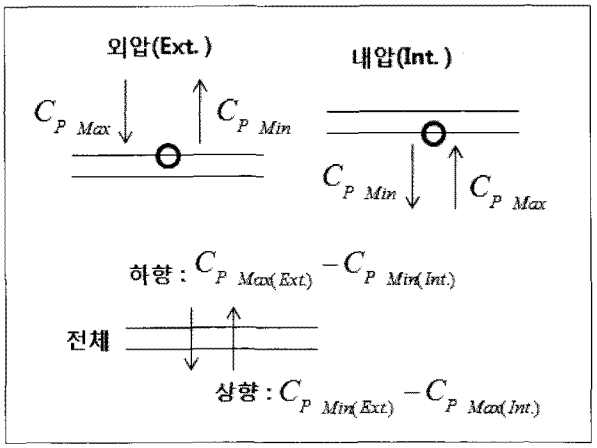
P_{max} : 풍압력의 최대치

P_{min} : 풍압력의 최소치

$q_H (= \frac{1}{2} \rho V_H^2)$:

기준높이 H에서의 기준 속도압

측벽이 설치되지 않은 경우 지붕은 외압과 내압을 받는 구조이므로 내압과 외압을 구한 후 전체부재에 작용하는 하향(내려누르는)과 상향(들어 올리는)의 풍압계수를 구하였다. 〈그림 4〉는 내압과 외압의 풍압계수를 이용하여 상향과 하향의 풍압계수에 대한 정의를 나타내고 있다.

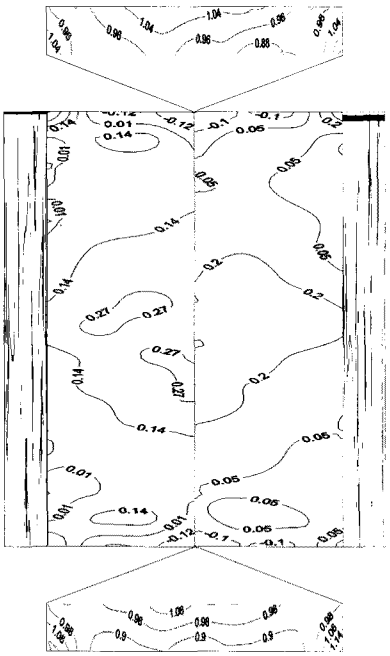


〈그림 4〉 오픈형 축사에 대한 풍압계수 정의 방향

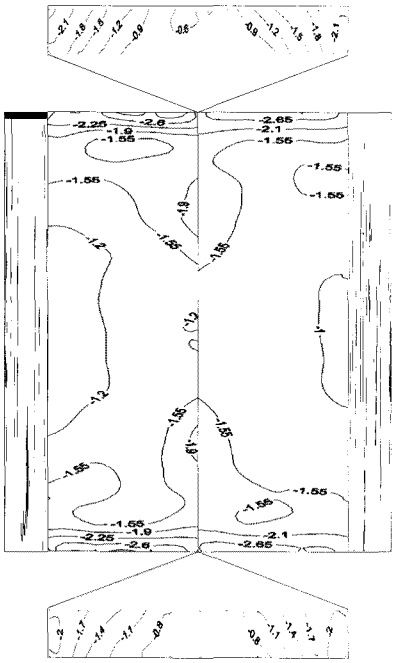
3.1. 전체 풍압계수분포

〈그림 5〉는 측벽이 설치되어 있는 축사의 최대 및 최소 피크외압계수분포를 나타내고 있다. 〈그림 6〉은 측벽이 없을 때 축사의 지붕에 작용하는 풍압계분포를 나타내고 있다. 측벽 유무에 관계없이 전체적으로 지붕의 모서리 부분에서 큰 피크외압계수가 나타나고 있는 것을 확인할 수 있었다. 측벽이 있는 경우는 최소(부압) 피크외압계수가 최대(정압)의 피크외압계수에 비교해서 크게 나타나고 있었다. 특히 출입문 처마에서 부압은 용마루 중앙에서 발생하는 부압에 비교해서 2배정도 크게 발생하고 있었다. 그러나 측벽이 없는 경우 지붕의 하향과 상향방향으로 작용하는 풍압계수 분포는 지붕의 위치에 따라 다르게 나타나고 있었다. 하향의 피크외압계의 경우는 지붕의 긴 방향의 처마에서 큰 풍압계수가 크게 나타나고 있었지만, 짧은 방향의 처마의 경우는 상향으로 작용하는 풍압계수가 크게 나타나고 있었다. 측벽유무에 따른 지붕면에서의 피크외압계수의 크기는 측벽이 없는 경우는 최대 13%정도 크게 나타나고 있었다. 전체적으로 지붕의 용마루 주변에서 하향보

다는 상향으로 작용하는 힘이 크게 작용하고 있어 측벽이 없을 경우는 바람에 의해 지붕이 들어 올리는 힘이 크게 작용하게 된다. 그리고 측벽이 없을 경우에는 지붕중앙의 용마루에서는 7%정도, 짧은 변 지붕모서리부분에서는 26%정도 큰 부압의 피크외압계수가 나타나고 있었다.

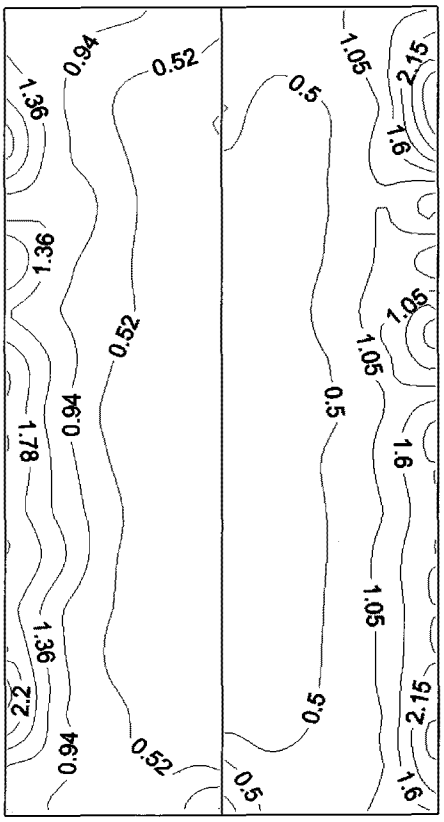


(a) 최대 피크외압계수

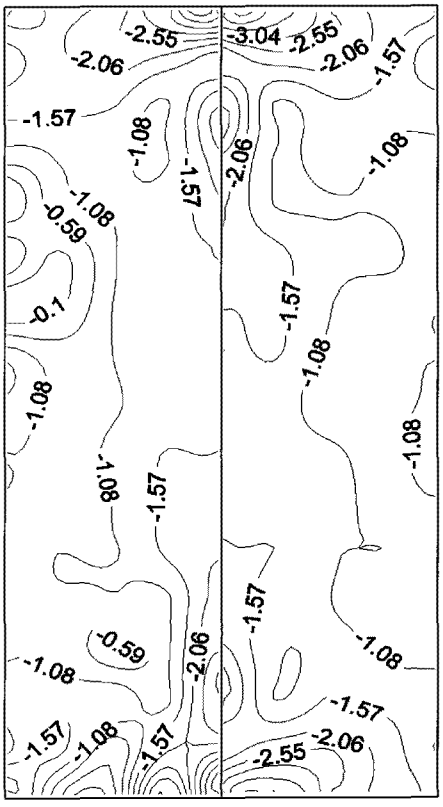


(b) 최소 피크외압계수

〈그림 5〉 측벽이 있는 축사의 피크외압계수분포



(a) 하향



(b) 상향

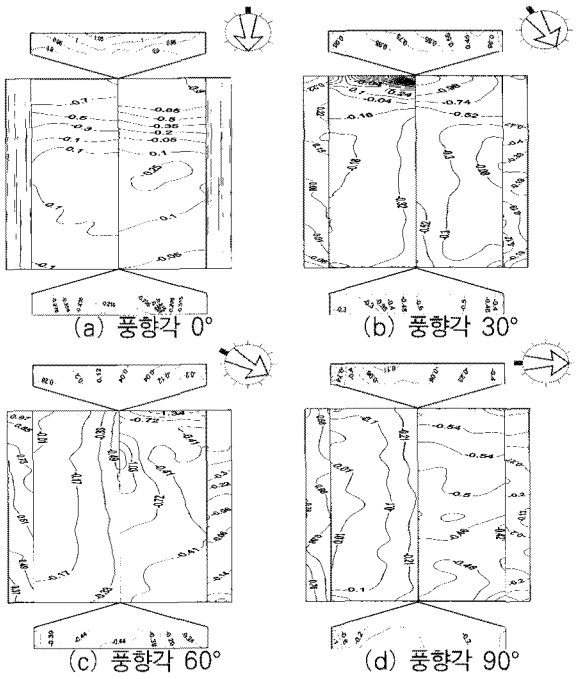
〈그림 6〉 측벽이 없는 축사의 풍압계수 분포

3.2. 풍향각 변화에 따른 변화

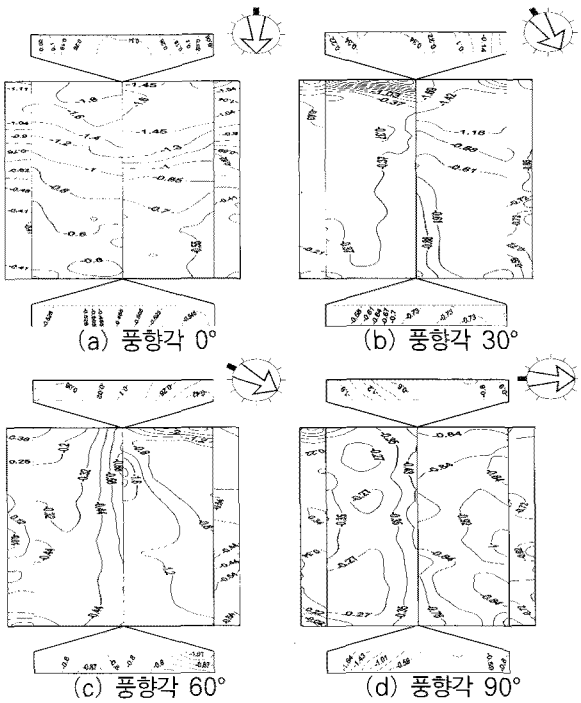
〈그림 7〉,〈그림 8〉은 풍향각 변화에 따른 축사 측벽이 있는 경우의 측벽과 지붕면에 작용하는 피크외압계수분포를 나타내고 있다. 전체적으로 풍향각의 변화와 관계없이 지붕테두리에서 큰 피크외압계수가 나타나고 있었다. 풍향각이 0° 일 때와 90° 일 때 지붕면에서는 적은 피크외압계수가 분포하지만 측벽 주변에서는 큰 피크외압계수가 나타나고 있었다. 풍향각이 30° , 60° 로 증가할수록 측벽보다는 지붕면에서 큰 피크외압계수가 분포하게 된다. 지붕면에서도 바람이 불어오는 방향의 지붕면보다 반대지붕면의 모서리에서 풍향각 0° 를 기준으로 하여 풍향각 30° 에서 14%, 60° 에서 24%로 큰 최소피크외압계수가 증가하고 있었다. 반대로 바람이 불어오는 방향에서에서 60%-70%정도 감소하고 있었다.

〈그림 9〉,〈그림 10〉은 측벽이 없는 축사의 풍향각 변화에 따른 하향 및 상향의 풍압계수 분포를 나타내고 있는데, 풍향각 변화에 따른 하향과 상향의 풍압계수 변화에서는 지붕면과 평행한 0° 일 때 풍상측에서 작용하는 풍압계수의 크기가 하향보다 상향에서 최대 70% 크게 나타나고 있다. 그러나 지붕면과 직각인 90° 의 경우에는 하향이 상향보다 40%정도 크게 나타나고 있다. 풍하측에 작용하는 풍압계수의 크기는 0° 일 때 하향과 상향의 값은 비슷하게 나타나고 있으나, 90° 에서는 상향이 하향에 비해 60%정도 크게 나타나고 있다. 풍향의 변화에 따라서는 하향의 경우 지붕면과 평행한 0° 에서 지붕면과 수직인 90° 로 갈수록 바람이 부는 방향의 지붕면의 값이 0.14에서 최대 1.79까지 커지고 있다. 하지만 상향의 경우 바람이 부는 방향의 면이 지붕면과 수직이 될수록 값이 작아지고 있다.

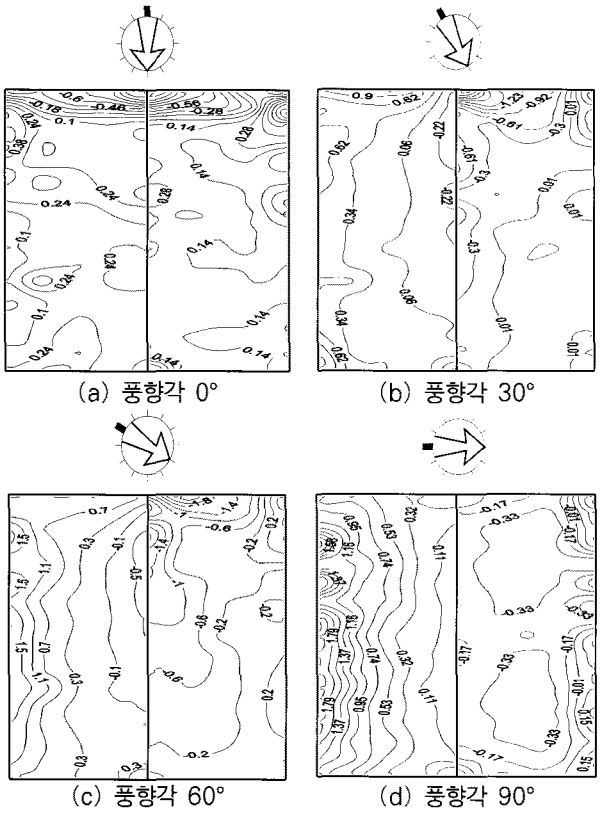
측벽유무에 관계없이 축사지붕면의 피크외압계수분포에서 풍향각 0° 로 불어오는 방향에 대해서 불리하게 작용하고 있는 것을 알 수 있다. 전체적으로 출입문(짧은 변)에 작용하는 지붕면의 모서리에서 큰 상향의 힘이 작용하지만 특정 풍향각인 60° 의 경우에는 긴 변의 처마주변에서 큰 하향의 피크외압계수가 나타나고 있어 측벽의 유무에 따라 피크외압계수가 풍향각과 처마의 길이에 영향을 받는 것으로 판단된다.



〈그림 7〉 측벽이 있는 축사의 풍향각별 최대피크외압계수분포



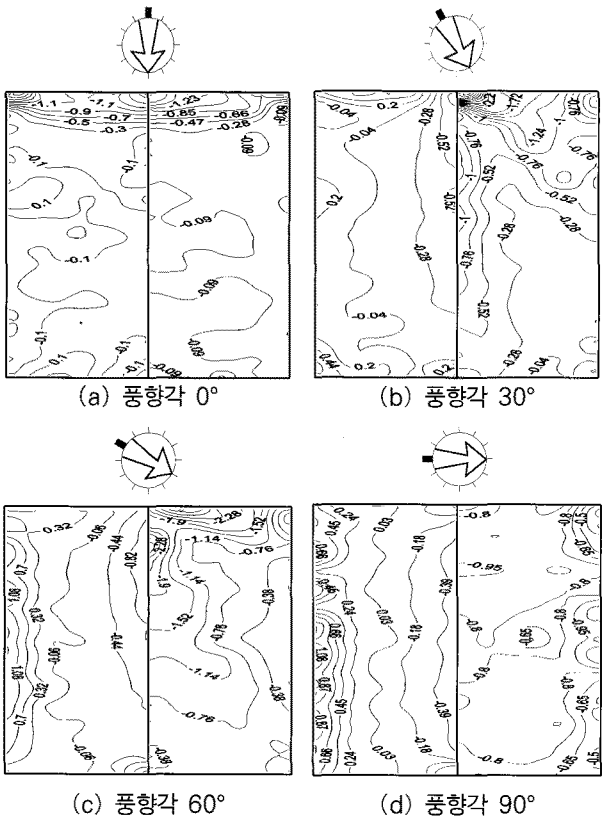
〈그림 8〉 측벽이 있는 축사의 풍향각별 최소 피크외압수분포



(a) 풍향각 0° (b) 풍향각 30°

(c) 풍향각 60° (d) 풍향각 90°

〈그림 9〉 풍향각 변화에 따른 하향 풍압계수 분포



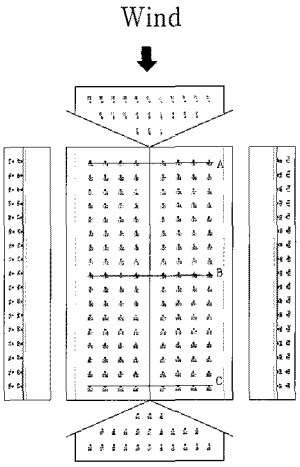
(a) 풍향각 0° (b) 풍향각 30°

(c) 풍향각 60° (d) 풍향각 90°

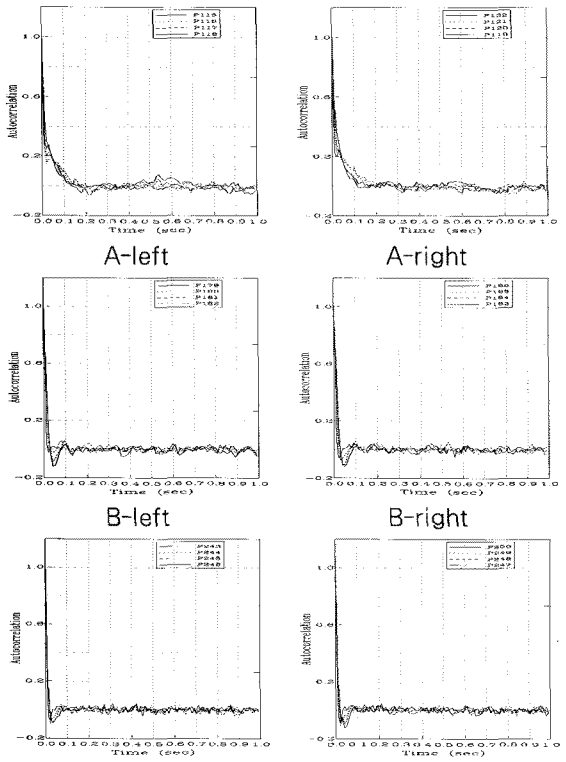
〈그림 10〉 풍향각 변화에 따른 상향 풍압계수 분포

3.3. 자기상관계수분석

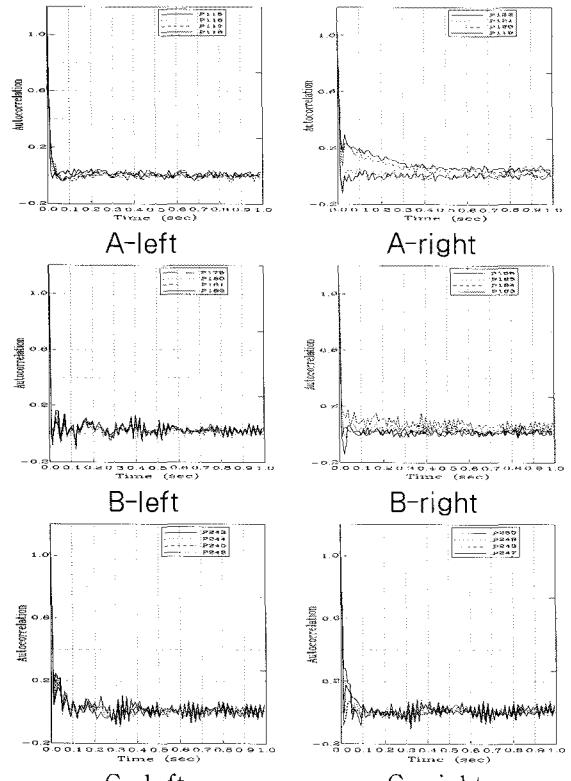
측벽이 있는 경우에 풍향각 변화에 따른 축사의 각위치별 풍압의 자기 상관계수에 대해서 분석을 하였다. 축사의 모서리 부분과 중앙 부분에 대해서 풍향각변화에 따른 위치별 풍압의 특성에 대해서 알아보았다. 〈그림 11〉은 측벽이 있는 축사의 지붕면을 3개의 열로 구분하여 해석하였으며 각열을 A,B,C로 구분하였다. 그리고 각열에서 박공지붕의 왼쪽편(Left) 과 오른쪽편(Right)에 각각 4개의 탭이 설치되여 있다. 4개의 탭번호에 따라서 〈그림 12〉와 〈그림 13〉에 자기상관계수를 나타내고 있다. 바람이 불어오는 방향의 모서리를 A열로 하였다. 해석의 풍향각을 0° ,30° 2종류에 대해서 하였다. 풍향각이 0° 일 때 A열의 자기상관계수는 대체로 시간지연(time lag)에 따라 지수함수적으로 감쇠하는 형태를 갖는다. 그리고 B열의 경우는 주기적기 와의 형성에 의한 변동성분이 발생하고 있었다. C열의 경우는 특별한 변동성분과 지수함수적인 감소들이 나타나고 있지는 않고 있었다. 그러나 풍향각이 30° 인 경우에는 A행의 경우는 Right 부분의 일부에서 큰 지수함수적인 감소가 나타나고 있었으며 특히 바람이 불어오는 방향에서 측정된 측정탭에서는 이러한 경향이 크게 나타나고 있었다. 그리고 주기적인 와의 크기가 B열의 경우도 풍향각 30° 에서 크게 나타나고 이 있는 것을 확인할 수 있었다.



〈그림 11〉 풍향각 변화에 따른 상향 풍압계수 분포



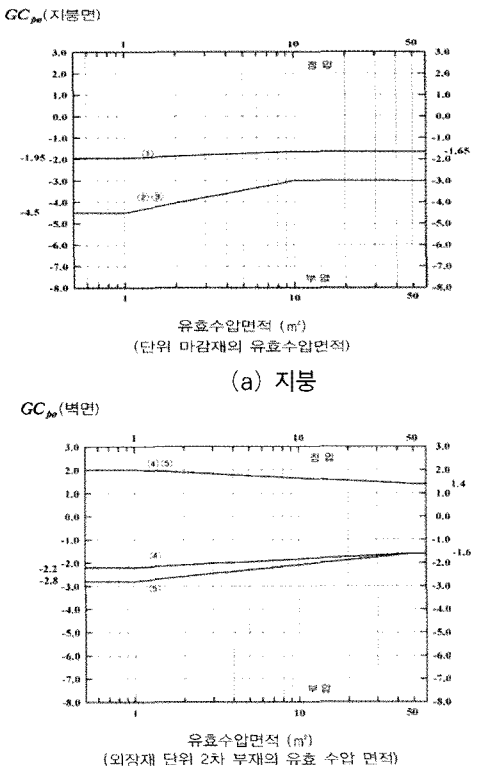
〈그림 12〉측정위치별 자기상관계수 분포도
(풍향각 0°)



〈그림 13〉측정위치별 자기상관계수 분포도
(풍향각 30°)

3.4. 하중기준비교

실험결과와 하중기준의 비교를 위해 측벽이 있는 축사는 하중기준 KBC-2009년에 개정한 풍하중기준4)에서 제안하고 있는 지붕면 평균높이 20m미만 박공지붕면 외장재 설계용 피크 외압계수를 사용하였다. 〈그림 14〉은 유효수압면적별 피크외압계수를 나타나고 있다. 〈그림 14-(a)〉는 지붕을 3개영역으로 나누어서 제안을 하고 있다. 지붕의 테두리에 해당되는 ②, ③영역이 -4.5 피크외압계수를 나타내고 있다. 〈그림 14〉에서 측벽이 있는 경우 ⑤영역에서 -2.8 피크외압계수분포를 하고 있었다. 〈표 3〉은 축사의 풍동실험에서 구한 영역별 피크외압계수를 나타내고 있다. 하중기준과 풍동실험에 적용한 수압면적은 $1m^2$로 하였다. 전체적으로 하중기중이 ①은 하중기준이 40%정도 크게 나타나고 있지만 ②, ③영역은 풍동실험결과가 50%정도 적게 나타고 있었다. 측벽모서리의 ⑤영역의 경우는 풍동실험결과가 하중기준보다 28%정도 적게 나타나고 있었다.



(a) 지붕

(b) 벽면

〈그림 14〉 박공지붕의 외장재 설계용 피크외압계수

〈 표 3〉 풍향각변화에 따른 영역별 피크외압계수

풍향각	①영역	②영역, ③영역	⑤영역
풍동실험	-1.2	-2.25	-2.8
하중기준	-1.95	-4.5	-2.0

4. 결 론

측벽의 유무에 따른 축사지붕의 외장재 설계를 위한 풍압계수 특성에 대해서 풍동실험과 하중기준을 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 측벽이 있는 경우는 최소(부압) 피크외압계수가 최대(정압)의 피크외압계수에 비교해서 크게 나타나고 있었다. 특히 출입문 처마에서 부압은 용마루 중앙에서 발생하는 부압에 비교해서 2배정도 크게 발생하고 있었다. 그러나 측벽이 없는 경우는 하향(지붕을 내려누는힘)의 지붕의 장변방향의 처마에서, 단변방향의 처마의 경우는 상향(지붕을 들어올리는힘)으로 작용하는 풍압계수가 크게 나타나고 있었다. 측벽유무에 따른 지붕면에서의 피크외압계수의 크기는 측벽이 없는 경우는 최대 13%정도 크게 나타나고 있었다.

(2) 측벽이 있는 경우의 지붕면에서 대한 자기상관계수분석결과 풍향각과 측압공의 유치에 따라 풍압의 특성이 다르게 나타나고 있었다. 바람이 불어오는 0° 의 경우는 바람이 불어오는 방향에서 가장 가까운곳에서 지수함수적으로 감쇠하는 형태와 지붕의 중간열의 주기적기 와의 형성에 의한 변동성분이 발생하고 있었다. 그러나 풍향각이 30° 도에서는 지수함수적인 분포를 하던 A열에서 일부바람이 불어오는 부분만 지수함수적인 감소를 하고 있었으며, 중간열에서는 풍향각 0° 도다 크기가 큰 주기적인 와가 발생하고 있었다.

(3) 하중기준에서 제안하고 있는 지붕의 3개영역과 벽면의 2개영역에 대해서 풍동실험결과가 비교한 결과 지붕의 모서리영역에서는 40%정도 중심영역에서는 50%정도 적게 나타나고 있었다. 벽면의 경우는 28%정도 적게 나타나고 있었다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 지역기술혁신사업의 연구비 지원(과제번호# '08지역기술혁신 B01-02)에 의해 수행되었습니다.

- 참고문헌 -

1. 재해연보 2003,2004,2005 소방방재청
2. Holmes, J.D.(2001),Wind Loading of Structures, Spon Press, London,Uk
3. Tieleman,H.W.,Surry,D.and Mehta,K.C.(1996) Full/Model-scale comparison of surface pressures on the Texas Tech Experimental Building, Joural of Wind Engineering Industrial Aerodynamic, 61,1-23
4. 대한건축학회, 건설교통부제정 건축물 하중 기준에 따른 풍하중 해설 및 설계, 2009
5. 김영문 역, 실무자를 위한 건축물 풍동실험 가이드북, 한국풍공학회, 1998
6. 함희정, 저층건물에 작용하는 변동풍압력의 특징 : 실측과 풍동실험의 비교, 조형예술논문집 제4집, 2002
7. 이은지,황성권,하영철,지호청, 박공지붕 저층건물의 풍압특성 비교, 한국풍공학회논문집, 제12권 제 2호, pp105-117,2008

(접 수 일 자 : 2010년 11월 1일)
(심사 완료일자 : 2011년 3월 2일)
(게재 확정일자 : 2011년 5월 27일)