

유동해석 기반 도로전광표지 공기저항 저감 구조 연구

A Study for Aerodynamic Drag Reduction on Variable Message Sign using Flow Analysis

임 세 미*
(Se-Mi Lim)

송 대 영**
(Dae-Young Song)

박 경 우**
(Kyeung-U Park)

박 준 석***
(Jun-Seok Park)

요 약

지능형교통체계(ITS) 정책의 일환으로 도로전광표지의 보급이 확대됨에 따라 그에 따른 유지보수의 비용 증가하고 있다. 본 논문은 도로전광표지의 공기저항 저감을 위하여 곡면 U형, 곡면 C형, 통풍형 공기저항 저감 구조를 제안하였으며 유동해석을 통해 제안한 공기저항 저감 표출부 합체의 풍하중 영향을 분석하였다. 풍직각 방향과 좌우 45° 방향, 상하 45° 방향에 대한 유동해석 결과, 곡면 C형 모델과 통풍형 세 가지 모델의 경우 풍방향 전 방향에 걸쳐 기본형 도로전광표지에 대해 약 30% 정도의 풍하중 저감율이 있는 것으로 분석되었다. 또한 곡면 U형 모델은 기본형 도로전광표지 대비 풍직각 방향과 풍방향 좌우 45° 방향에 대해서는 풍하중 저감효과가 있으나 풍방향이 상하 45° 방향으로 작용할 경우 풍하중 저감 효과가 미비한 것으로 나타났다. 향후 본 연구의 분석 결과를 토대로 도로전광표지의 공기저항을 줄여 태풍으로 인한 피해가 예상되는 곳에 적용 가능하고, 나아가 도로전광표지 지지구조물의 경량화가 가능해짐으로써 도로전광표지의 설치장소 제약을 완화시킬 수 있을 것으로 예상된다.

Abstract

As the demand of Variable Message Sign(VMS) has become pervasive in fulfilling the ITS policy, the costs of maintaining the Variable Message Sign operation have also increased. This paper proposes the U-curved figure, the C-curved figure and the ventilated figure type for aerodynamic drag reduction on Variable Message Sign and shows the analysis of aerodynamic drag effects using Flow Analysis. As a results of the flow analysis for right-angled, 45 degrees from side to side and 45 degrees from up or down, the C-curved figure and the ventilated figure type show about 30% aerodynamic drag reduction in all direction. And the U-curved figure type shows vivid aerodynamic drag reduction for right-angled and 45 degree from side to side, but trivial aerodynamic drag reduction for 45 degree from up or down. It is possible to reduce not only the damage on Variable Message Sign due to typhoon because of the aerodynamic drag reduction, but also installation constraints because of lighter Variable Message Sign support structure by appling the proposed structure and analysis in this paper.

Key words : Variable Message Sign, VMS, Aerodynamic Drag, Flow Analysis

† 본 연구는 국토해양부의 교통체계효율화사업(과제번호, 10교통체계-지능 03) 일환으로 수행되었습니다.

* 주저자 : 국민대학교 전자공학과 석사과정

** 공저자 : (주)에스티씨

*** 공저자 및 교신저자 : 국민대학교 전자공학과 교수

† 논문접수일 : 2011년 7월 27일

† 논문심사일 : 2011년 11월 2일

† 게재확정일 : 2011년 11월 14일

I. 서 론

◆ 최근 지능형교통체계(ITS) 정책의 일환으로 도로 전광표지가 고속도로에 평균 8km당 1대, ITS 구축 국도에 평균 4.7km당 1대 정도로 널리 보급되고 있다. 도로전광표지의 보급으로 운전자들의 편의는 증가하고 있지만, 유지보수 비용의 엄청난 증가가 단점으로 드러나고 있다. 특히, 여름철에는 태풍에 의한 누수 및 구조물 훼손 등 심각한 문제점이 발생되는데[1-4], 도로전광표지의 표출부 합체나 지지 구조물이 훼손될 경우에는 교체 및 재 설치에 많은 비용이 소요된다. 이를 방지하고자 도로전광표지를 지지하는 구조물을 대형화하여 설계하지만 이는 지지구조물의 거대화로 인해 보행자의 통행을 방해하거나 도로전광표지의 설치 위치에 제약을 가져오는 등 또 다른 문제점을 야기하게 된다. 따라서 근본적인 문제 해결을 위해서는 공기저항을 고려한 도로 전광표지 설계에 관한 연구가 이루어져야한다. 도로시설물에 대한 풍하중 분석 연구로는 “풍하중을 받는 도로표지판의 안전성 검토”, “내민식 도로표지판의 구조해석 및 풍동실험의 비교분석” 등의 연구가 진행된 바가 있으나 국외에 비해 활발히 진행되지 않고 있으며 풍저항을 감소시키기 위한 설계 기준 또한 체계적으로 정립되어있지 않은 실정이다 [1]. 도로전광표지의 공기 저항 저감 연구를 진행함으로써 도로전광표지의 유지보수 비용을 줄이고 안전성을 높일 수 있으며, 나아가 도로전광표지 지지 구조물의 경량화가 가능해져 도로전광표지의 설치 제약성을 감소시킬 수 있을 것이다. 본 논문은 도로 전광표지의 공기저항 저감을 위하여 크기 세 가지 유형의 공기저항 저감 표출부 합체를 제안하였고, 유동해석을 통해 제안한 공기저항 저감 표출부 합체의 풍하중 영향을 비교 분석하였다.

II. 유동해석 개요 및 해석모델

1. 유동해석 개요

유동해석모델은 진입로용으로 주로 사용되는 2

〈표 1〉 2단 10열 도로전광표지의 설치 현황
(Table 1) Install Status of 2X10 Variable Message Sign

	서울시	국도	고속도로
도로전광표지 총 설치 수량	261기	530기	811기
2단 10열 설치 수량	42기	306기	450기
2단 10열 설치 비율	16.1%	57.7%	55.5%

2011년 한국지능형교통체계협회 조사

단 10열의 도로전광표지를 기준으로 제안하였다. 2단 10열 도로전광표지는 국도 및 고속도로에 가장 많이 설치되어있는 규격이며, 서울시에서도 3단 10열 다음으로 가장 많이 설치되어있는 도로전광표지 규격이다.

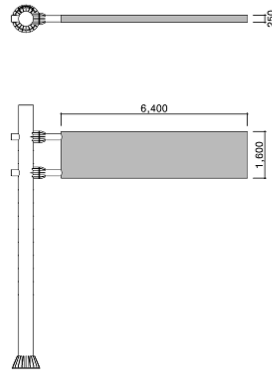
공기의 저항에 따른 풍하중의 영향을 검토하기 위하여 대상유체를 공기로 설정하였으며 기류해석 조건은 정상상태, 비압축성 유동으로 가정하였다. 난류모델은 정상상태 해석 시 성능이 우수하고 수렴성이 좋은 k- ω model을 적용하였다[5,6]. 또한 표출부 합체와 인접한 공간에 매쉬를 만들어 유동해석 결과를 매쉬에 전달시켜 잘린 공간에서의 공기의 유동성을 측정 및 분석하여 도로전광표지가 받는 풍하중을 산정하였다. 유동입구로 들어가는 바람의 속도는 40m/s로, 유동출구는 압력일정조건으로 설정하였다. 공기의 속도는 도로표지판관련규정집의 편지식 표지판에 대한 설계속도인 40m/s를 적용하여 유동해석을 실시하였다[7]. 공기저항 저감 구조를 실제 제작 시에는 전면과 후면을 대칭으로 제작하여 제작할 예정이므로 후면 풍향은 고려하지 않고 전면에 대해서만 분석하였다.

2. 해석모델

유동해석은 기본형, 곡면 U형, 곡면 C형, 통풍형 총 4가지의 도로전광표지 모델로 구분하여 진행하였다. 또한 통풍형 표출부 합체에 대해서는 통풍구의 형태 및 크기에 따라 3가지 모델로 세분화하여 분석하였다.

1) 기본형 도로전광표지 표출부 함체

도로전광표지 공기저항 저감 구조의 유동해석은 직진 또는 좌우향, 상하향에 대해 단편적인 분석을 진행할 경우, 특정 모델에 유리한 결과가 도출될 가능성이 있으므로 전방향에 대한 복합적인 특성을 살펴보기 위하여 직진향, 좌우향, 상하향에 대하여 각각의 x, y, z축에서의 풍하중을 해석한 후 풍하중의 합력을 계산하여 산정하였다. 또한 기본형 표출부 함체를 기준으로 제안한 세 가지 구조의 풍하중 저감률을 분석하였다. 기본형 도로전광표지의 해석 모델은 <그림 1>과 같이 6,400 X 1,600 X 250mm인 2단 10열 도로전광표지 구조를 선정하였다.

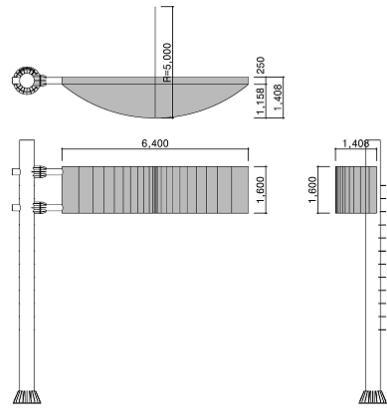


<그림 1> 기본형 도로전광표지 표출부 함체 해석모델
 <Fig. 1> The Flow Analysis Model of Basic Type Variable Message Sign

2) 곡면 U형 도로전광표지 표출부 함체

곡면 U형 표출부 함체는 <그림 2>와 같이 도로전광표지의 상단에서 보았을 때 굴곡진 반원 형태의 표출부 함체이다. 곡면을 구현하기 위해서는 도로전광표지에 곡선형 투명 레이돔을 장착한다. 곡면 U형 표출부 함체는 정면 및 좌우에서 바람이 불어올 경우 공기의 흐름이 분산되어 직진향 및 좌우향 풍방향에 대한 내구성 특성이 뛰어날 것으로 예상된다[8].

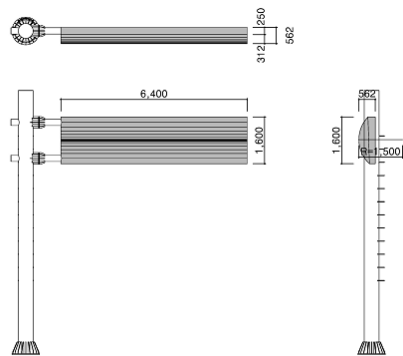
곡면 U형 표출부 함체의 곡률은 곡선형 레이돔의 소재인 폴리카보네이트의 최대 굴곡 제작 가능 범위를 고려하여 5000mm로 결정하였다. 또한 곡면 U형 도로전광표지의 해석 모델은 6,400 X 1,600 X 1,408mm, 곡률 5000mm인 2단 10열 도로전광표지 구조를 선정하였다.



<그림 2> 곡면 U형 도로전광표지 표출부 함체 해석모델
 <Fig. 2> The Flow Analysis Model of U-curved figure Type Variable Message Sign

3) 곡면 C형 도로전광표지 표출부 함체

곡면 C형 표출부 함체는 <그림 3>과 같이 도로전광표지의 측면에서 보았을 때 굴곡진 반원 형태의 표출부 함체이다. 곡면을 구현하기 위해서 도로전광표지에 곡선형 투명 레이돔을 장착한다. 곡면 C형 표출부 함체는 정면 및 상하에서 바람이 불어올 경우 공기의 흐름이 분산되어 직진향 및 상하향 풍방향에 대한 내구성 특성이 뛰어날 것으로 예상된다[8].

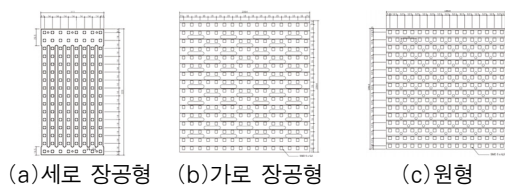


<그림 3> 곡면 C형 도로전광표지 표출부 함체 해석모델
 <Fig. 3> The Flow Analysis Model of C-curved figure Type Variable Message Sign

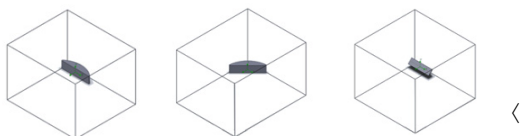
곡면 C형 표출부 합체의 곡률은 곡선형 레이돔의 소재인 폴리카보네이트의 최대 굴곡 제작 가능 범위를 고려하여 1500mm로 결정하였다. 또한 곡면 C형 도로전광표지의 해석모델은 6,400 X 1,600 X 562mm, 곡률 1500mm인 2단 10열 도로전광표지 규격의 구조를 선정하였다.

4) 통풍형 도로전광표지 표출부 합체

통풍형 도로전광표지는 표출부 합체에 통풍홀이 뚫려있어 바람이 통풍홀을 통과하여 빠져나가는 구조이다. 해석 모델의 규격은 기본형 도로전광표지와 동일하게 6,400 X 1,600 X 250mm인 2단 10열 도로전광표지 규격의 구조를 선정하였다. 또한 통풍홀의 형태에 따라 <그림 4>와 같이 4mm X 180mm 세로 장공형 통풍홀, 29mm X 4mm 격자형 가로 장공형 통풍홀, 지름 4mm 원형 통풍홀 세가지 모델을 해석하였다. 4mm X 180mm 세로 장공형 통풍홀 모델은 통풍홀의 길이가 길어 바람이 빠져나갈 수 있는 면적이 넓지만, 방수 특성이 떨어질 우려가 있고 서쪽에 설치되었을 경우 통풍홀을 통해 태양의 역광이 운전자의 시인성을 저해할 수 있다. 이를 개선하기 위하여 통풍홀의 길이를 줄이고 통풍홀의 위치를 격자로 배열한 29mm X 4mm 격자형 가로 장공형 통풍홀 모델과 지름 4mm 원형 통풍홀 모델을 추가로 제안하였다.



<그림 4> 통풍형 표출부 합체 해석모델의 통풍홀 구조
<Fig. 4> The Flow Analysis Model of U-curved figure Type Variable Message Sign



<그림 5> 유동해석의 해석영역 정의
<Fig. 5> Define to domain of Flow analysis

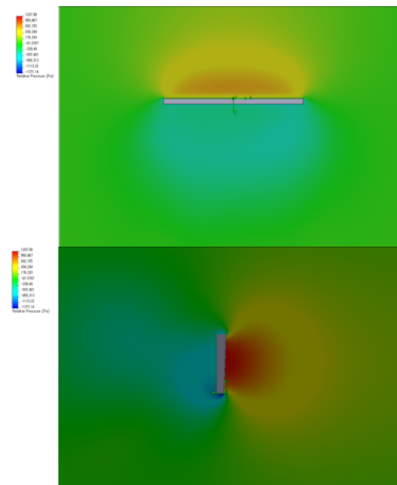
3. 해석방법

제안한 표출부 합체 해석모델을 바탕으로 모델링 및 격자를 생성하여 유동해석 및 분석을 하였다. 유동해석을 하고자 하는 물체의 형상이나 조건 등에 따라 해석 결과가 달라질 수 있으므로[9] <그림 5>와 같이 해석영역을 정의하고 유동입구 및 유동출구 방향을 기준으로 표출부 합체해석 모델을 돌려가며 직진향, 좌우향, 상하향에 대해 분석하였다. x, y, z 축에 대한 풍하중을 해석하여 풍하중의 합력을 계산하였으며, 또한 이를 기본형 해석모델의 풍하중 합력 대비 풍하중 증감 비율로 산정하였다.

III. 풍하중 해석결과

<그림 6>은 풍직각 방향으로 바람이 불었을 때 기본형 모델의 압력분포를 나타낸 그림이다. 제안한 5가지의 공기저항 저감 모델에 대해서도 풍직각 방향, 좌우 45 방향, 상하 45° 방향에 대한 압력분포를 확인하였다.

<표 2>는 풍직각 방향, 좌우 45 방향, 상하 45° 방향에 대한 기본형 및 제안한 공기저항 저감 모델의 풍하중 해석 결과이다. x, y, z 축에 대한 풍하중을 해석하여 풍하중의 합력을 계산하였다.



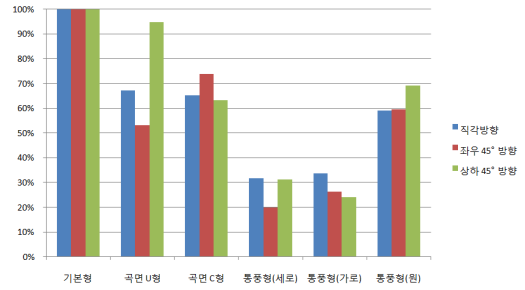
<그림 6> 기본형 도로전광표지 표출부 합체 해석모델의 압력분포
<Fig. 6> Pressure Distribution of the Basic Type Variable Message Sign

〈표 2〉 풍방향별 풍하중 해석결과
 〈Table 2〉 Analysis of wind load by along wind

구분	풍하중(N)			
	Fx	Fy	Fz	합력
풍직각 방향				
기본형	12	17342	306	17344.7
곡면 U형	18	11630	157	11631.1
곡면 C형	37	11298	23	11298.1
통풍형(세로)	3	5485	3	5485.0
통풍형(가로)	1	5831	7	5831.0
통풍형(원)	37	10245	7	10245.1
좌우 45° 방향				
기본형	90	12560	405	12566.9
곡면 U형	77	6692	7	6692.45
곡면 C형	104	9271	72	9271.86
통풍형(세로)	72	2499	4	2500.04
통풍형(가로)	123	3296	24	3298.38
통풍형(원)	132	7482	45	7483.30
상하 45° 방향				
기본형	31	10636	477	10646.74
곡면 U형	9	11571	2789	11902.38
곡면 C형	22	7902	760	7938.49
통풍형(세로)	1	3631	1490	3924.83
통풍형(가로)	14	2549	1627	3024.02
통풍형(원)	1	8554	1516	8687.30

〈그림 7〉은 풍방향에 대해 각 표출부 합체해석 모델별 풍하중 감소 비율을 나타낸 그림으로써, 기본형 해석모델의 풍하중 합력을 100%로 기준하여 풍하중 증감 비율로 나타내었다.

풍직각 방향과 좌우 45° 방향, 상하 45° 방향에 대한 유동해석 결과, 세로 장공형 통풍형과 가로 장



〈그림 7〉 풍방향별 공기저항 저감 비율
 〈Fig. 7〉 Aerodynamic Drag Reduction Ratio by along wind

공형 통풍형 모델의 경우 풍방향 전 방향에 걸쳐 기본형 도로전광표지에 대해 약 70% 정도의 풍하중 저감율이 있는 것으로 분석되었다. 또한 곡면 C형 모델과 원형 통풍형 모델도 풍방향 전 방향에 걸쳐 기본형 도로전광표지에 대해 약 30% 정도의 풍하중 저감율이 있는 것으로 분석되었다. 그리고 곡면 U형 모델은 기본형 도로전광표지 대비 풍직각 방향과 풍방향 좌우 45° 방향에 대해서는 약 30% 이상의 풍하중 저감효과가 있으나 풍방향이 상하 45° 방향으로 작용할 경우 풍하중 저감 효과가 미비한 것으로 분석되었다.

IV. 결 론

본 논문은 도로전광표지의 공기저항 저감 구조를 제안하고 유동해석을 수행하여 최적의 공기저항 저감 구조를 분석하였다.

풍직각 방향과 좌우 45° 방향, 상하 45° 방향에 대한 유동해석 결과, 곡면 C형 모델과 통풍형 세 가지 모델의 경우 풍방향 전 방향에 걸쳐 기본형 도로전광표지에 대해 약 30% 정도의 풍하중 저감율이 있는 것으로 분석되었다. 또한 곡면 U형 모델은 기본형 도로전광표지 대비 풍직각 방향과 풍방향 좌우 45° 방향에 대해서는 풍하중 저감효과가 있으나 풍방향이 상하 45° 방향으로 작용할 경우 풍하중 저감 효과가 미비한 것으로 나타났다.

곡면 C형 모델과 통풍형 세 가지 모델의 경우 도로와 건물의 형태에 따라 다양한 풍하중의 영향을 받는

도심 지역 및 다각도의 풍하중의 영향을 받는 고속도로 등에 다양하게 적용 가능할 것으로 기대된다. 또한 공기저항 저감 표출부 합체 적용을 통하여 도로전광표지의 풍하중을 줄임으로서 도로전광표지 지지구조물의 크기 및 중량을 감소시켜 도로전광표지 설치 위치의 제약을 개선시킬 수 있을 것으로 기대된다.

향후 실도로 환경에서 공기저항 저감 도로전광표지를 적용하기 위해서는 통풍형 세 가지 모델에 대한 누수 방지 방안과 곡면 U형 및 곡면 C형에 대한 곡률 최적화 연구가 추가 연구로 진행되어야 할 것이다. 또한 곡선형 레이돔에 의해 빛의 굴절이 발생하여 교차로에서 진입하는 운전자 및 외곽차선의 운전자에게는 표출 문안 왜곡현상이 발생될 수 있으므로 굴곡에 따른 빛의 왜곡현상을 보정하기 위한 연구가 진행되어야 할 것이며, 본 연구 내용을 바탕으로 도로표지판의 풍하중과 자중을 고려한 지지구조물 분석에 관한 연구도 추가적으로 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 길용식, 김희덕, 하영철, “풍하중을 받는 도로표지판의 안전성 검토,” *한국풍공학회는문집*, 제 12권, 제 1호, pp.45~51, 2008.
- [2] 정운용, 정봉조, 박태규, “고속도로 강풍지역 차량주행 안전성 확보방안 연구,” 한국도로공사 도로교통기술원, 2003년 3월.
- [3] A.D. Quinn, C.J. Baker and N.G. Wright , “Wind and vehicle induced forces on flat plates-Part 1 : wind induced force , *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*,” pp.817-829, 2001.
- [4] A.D. Quinn, C.J. Baker and N.G. Wright , “Wind and vehicle induced forces on flat plates-Part 2 : wind induced force , *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*,” pp.817-829 , 2001.
- [5] Wilcox, “Reassessment of the Scale-Determining Equation for Advanced Turbulence Models,” *AIAA Journal*, vol. 26, no. 11, pp.1299-1310, 1988.
- [6] Wilcox, D.C., “*Turbulent Modiling for CFD*,” DCW Inc, 1993.
- [7] 건설교통부, “도로표지관련규정집,” pp.139-189, 2006년, 5월.
- [8] 박지선, “전산유체역학(CFD)을 이용한 셸 구조의 형상에 따른 풍압 특성에 관한 연구,” pp.45-52, 2008.
- [9] Rom and J., “*Angle of Attack Aerodynamics*,” Springer-Verlag, New York, Chap 2, 1992.

저자소개



임 세 미 (Lim, Se-Mi)

2010년 3월 ~ 현 재 : 국민대학교 전자공학과 석사과정
2006년 3월 ~ 2010년 2월 : 국민대학교 전자공학과 졸업



박 준 석 (Park, Jun-Seok)

2003년 2월 ~ 현 재 : 국민대학교 전자공학과 교수
1998년 3월 ~ 2003년 2월 : 순천향대학교 정보기술공학부 조교수
1993년 3월 ~ 1996년 2월 : 국민대학교 전자공학과 졸업(공학박사)
1991년 3월 ~ 1993년 2월 : 국민대학교 전자공학과 졸업(공학석사)
1987년 3월 ~ 1991년 2월 : 국민대학교 전자공학과 졸업



송 대 영 (Song, Dae-Young)

2011년 10월 ~ 현 재 : (주)에스티씨 전무이사
2008년 8월 : 아주대학교 ITS대학원 석사과정 수료
2007년 6월 ~ 2010년 9월 : 주식회사 디티앤 대표이사
2003년 10월 ~ 2007년 5월 : (주)한일에스티엠 전무이사
1994년 12월 ~ 2003년 10월 : 서울특별시청



박 경 우 (Park, Kyeong-U)

2010년 12월 ~ 현 재 : (주)에스티씨 개발연구원
2007년 9월 ~ 2010년 11월 : (주)에스엠텔레콤 대리
2006년 10월 ~ 2007년 8월 : (주)동화시스템 개발연구원
2005년 3월 ~ 2006년 9월 : 유경제어(주) 생산기술팀
2004년 3월 : 부천대학교 졸업